الدليل في الفيزياء

# الديناميكا الحرارية
# وقوانين الحركة لنيوتن

الدكتور

ياسين محمد عبد السلام الحلواني

دار العلم والإيمان للنشر والتوزيع

دار الجديد للنشر والتوزيع

530.025

ا.ي

ياسين محمد عبد السلام الحلواني ، .

الدليل في الفيزياء: الديناميكا الحرارية وقوانين الحركة النيوتن / ياسين محمد عبد السلام الحلواني .- ط1.- دسوق: دار العلم والإيمان للنشر والتوزيع، دار الجديد للنشر والتوزيع

208 ص ؛ 17.5 × 24.5سم .

تدمك : 7- 623- 308 - 977 - 978

1. الفيزياء – أدلة

أ - العنوان .

رقم الإيداع : 28015.

الناشر : دار العلم والإيمان للنشر والتوزيع

دسوق - شارع الشركات- ميدان المحطة – بجوار البنك الأهلي المركز

E- elelm_aleman2016@hotmail.com & elelm_aleman@yahoo.com

mail:

الناشر : دار الجديد للنشر والتوزيع

تجزءة عزوز عبد الله رقم 71 زرالدة الجزائر

E-mail: dar_eldjadid@hotmail.com



2018

# الفصل الأول
# محاضرات في الديناميكا الحرارية

**تعريف علم الديناميكا الحرارية:**

**علم الديناميكا الحرارية هو علم تجريبي يهتم بدراسة كل ما هو متعلق بدرجة الحرارة والطاقة الحرارية أو التدفق الحراري المصاحب لتغيرات الأنظمة الكيميائية أو الفيزيائية .**

**تطبيقات علم الديناميكا الحرارية :**

**التطبيقات الهندسية: يستخدم هذا العلم هندسيا في تصميم المحركات ومولدات الطاقة الكهربية وأجهزة التبريد والتكييف .**

**التطبيقات الكيميائية: هنالك عدة تطبيقات لعلم الديناميكا نذكر منها :**

**التغيرات في الطاقة التي ترافق التغير الكيميائي أوالفيزيائي وبصورة عامة التغير في الطاقة بين النظام وما يحيط به .**

**دراسة إمكانية حصول التفاعل الكيميائي تلقائيا.**

**اشتقاق الصيغ والقوانين المكتشفة تجريبيا وبناؤها على أساس نظري فمثلا : يمكن اشتقاق واثبات قوانين التوازن الكيميائي.**

**يمكن اشتقاق قانون هس للمحتوى الحراري والذي يعتبر حالة خاصة للقانون الأول للديناميكا الحرارية .**

**يمكن اشتقاق معادلة كلابيرون - كلاوزيوس المتعلقة بالتوازن بين الأطوار .**

**يمكن اشتقاق معادلة قاعدة الطور أو الصنف.**

**المفاهيم الأساسية في الديناميكا الحرارية**

**تعريف النظام ( System ) : هو جزء من الكون الذي يحدث فيه التغير الكيميائي أو الفيزيائي أو هو الجزء المحدد من المادة التي توجه إليه الدراسة .**

**المحيط ( Surroundings ): هو الجزء الذي يحيط بالنظام ويتبادل معه الطاقة في شكل حرارة أوشغل ويمكن أن يكون حقيقي أو وهمي .**

**مثال: عند إضافة محلول حمض الهيدوكلوريك إلى محلول هيدوركسيد الصوديوم في كأس زجاجي فأن :**

*** النظام هو محلول الحمض والقاعدة**

*** حدود النظام هي جدران الكأس.**

*** المحيط هو باقي الكون حول النظام.**

بناء على الطريقة التي يتبادل بها النظام الطاقة والمادة مع المحيط قسمت الأنظمة إلى ثلاث أنواع :

النظام المفتوح (Open System) وهو النظام الذي يسمح بتبادل كل من المادة والطاقة بين النظام والوسط المحيط .

النظام المغلق ( Closed System) وهو الذي يسمح بتبادل الطاقة فقط بين النظام والوسط المحيط على صورة حرارة أو شغل .

النظام المعزول ( Isolated System) وهوالذي لا يسمح بانتقال أي من الطاقة والمادة بين النظام والوسط المحيط

خواص النظام ( Properties of a System )

يمكن تقسيم الخواص الطبيعية للنظام إلي مجموعتين :

خواص شاملة ( Extensive Properties ) وهي الخواص التي تعتمد على كمية المادة الموجودة في النظام مثل الكتلة ، الحجم، السعة الحرارية، الطاقة الداخلية ، الانتروبي ، الطاقة الحرة ومساحة السطح والقيمة الكلية بالنسبة لهذه الخواص تساوي مجموع القيم المنفصلة لها

**خواص مركزة Intensive( Properties ) وهي الخواص التي لا تعتمد على كمية المادة الموجودة في النظام مثل الضغط ، درجة الحرارة، الكثافة، التوتر السطحي،القوة الدافعة الكهربية والجهد الكهربي. كل هذه الخواص مميزة للمادة ولكن لا تعتمد على كميتها .**

**الاتزان الديناميكي الحراري Thermodynamic Equilibrium**

**يمكن تقسيمه إلى ثلاث أنواع :**

**الاتزان الميكانيكي (Mechanical Equilibrium) ويحدث هذا النوع من الاتزان عندما لا يحدث أي تغير ميكروسكوبي للنظام مع الزمن .**

**الاتزان الكيميائي ( Chemical Equilibrium ) ويحدث هذا النوع من الاتزان عندما لا يحدث تغير في تركيز المادة مع الزمن .**

**الاتزان الحراري ( Thermal Equilibrium ) ويحدث هذا النوع من الاتزان عندما تتساوى درجة حرارة النظام مع الوسط المحيط به ويتمثل هذا الاتزان في القانون الصفري للديناميكا الحرارية الذي ينص على أنه: إذا تواجد نظامان في حالة اتزان مع نظام ثالث فأن النظامين يكونان في حالة اتزان مع بعضيهما .**

**يحدث التغير في حالة النظام عند ظروف مختلفة ، نلخصها في الأتي :**

العملية الأديباتيكية ( Adiabatic Process ) وهي التي لا يفقد النظام أو يكتسب خلالها طاقة حرارية من الوسط .

العملية الأيزوثيرمالية (Isothermal Process ) هي العملية التي تحدث عند ثبات الحرارة ( بناء على ذلك يحدث ثبات الطاقة الداخلية )

العملية الآيزوبارية ( Isobaric Process ) هي العملية التي تحدث عند ضغط ثابت .

العملية الآيزوكورية ( Isochoric Process ) هي العملية التي تحدث عند حجم ثابت .

العملية الدائرية ( Cyclic Process ) هي العملية التي يتحرك فيها النظام في شكل دائري ويرجع لموقعه الأول (أي لا تتغير طاقته الداخلية) .

الطاقة ( Energy ):

الطاقة ( E )هي الشغل( w) المنجز أو المستهلك من قبل المادة.

ويمكن توضيح العلاقة بين الطاقة (E) والمادة ممثلة بكتلتها ( m ) كما يلي :

$E = w$

$= F x d$

$= m x a x d$

$= m x d x ( v / t )$

$= m x v x v = m x v2 = m x v x ( d/t )$

**أي أن الطاقة تساوي حاصل ضرب كتلة المادة في مربع سرعة هذه المادة ، وهي تشابه معادلة آينشتاين Einstein التي حدد فيها أن طاقة الجسم الذي يتكون منه الضوء والمسمى بالفوتون ( E ) تساوي حاصل ضرب كتلته في مربع سرعته التي تساوي سرعة الضوءc**

$E = m x c2$

**من الناحية الميكانيكية تقسم الطاقة لنوعان :**

**أ - الطاقة الحركية :( Kinetic Energy ( K. E ومقدارها يعتمد على كتلة الجسم ( m ) وعلى سرعته v**

**وتساوي : K E = 1/2 m v2**

**مثال : أحسب طاقة حركة جسم كتلته 60 kg وسرعته 20 km / h؟**

**الحل :**

$$K . E = 1/2\ m\ v^2$$

$$= 1/2 \times 60 \times ( 20 \times 1000 ) / 60 \times 60 = 925. 925\ J$$

**ب - الطاقة الوضعية Potential E nergy( P . E ) ومقدارها يعتمد على كتلة الجسم( m ) وعلى تسارعه( a )والمسافة التي يقطعها ( d )**

$$P . E = m \times a \times d$$

**مثال : جسم يتحرك بتسارع يساوي ( 20 m / s2 ) وكتلته تساوي ( 300 kg) أحسب طاقة وضعه إذا قطع مسافة قدرها ( 10 m ) ؟**

**الحل :**

$$P .E = m \times a \times d$$

$$= 300\ kg \times 20\ m/s^2 \times 10\ m$$

$$= 6000\ kg\ m^2 / s^2$$

$$= 6000\ J = 60\ kJ$$

**كل صور الطاقة لها الوحدات Mass x ( length )2 / ( Time )2**

**أي كتلة x ( المسافة )2 / ( الزمن )2 وعليه يمكن أن تكون الطاقة بوحدة الايرج ( Erg ) أو بوحدة الجول ( Joule ) أو السعر الحراري (Calory ) .**

**وحدة الطاقة في النظام (cgs) وهو فرنسي الأصل ويعني ( cm . gram . sec ) هي :**

**الايرج : ويعرف بأنه مقدار الشغل المبذول عندما تعمل قوة مقدارها واحد داين لمسافة قدرها سم واحد .**

**الداين : هو القوة التي تعطي عجلة مقدارها 1 .0 cm / sec2 لجسم كتلته واحد جرام .**

**العلاقات بين الوحدات**

**Calory = 4.18 J**

**Joule = 107 erg**

**Atom.. L = 24.23 cal = 101.3 J**

**تعريفات:**

**السعة الحرارية ( Heat Capacity ) تعرف بأنها مقدار الطاقة الحرارية اللازمة لرفع درجة حرارة جسم معين أو كمية معينة من المادة كتلتها ( m ) درجة مئوية واحدة .**

**وحدة السعة الحرارية جول / م ( J / C° )**

**الحرارة النوعية ( Specific Heat ) تعرف بأنها السعة الحرارية لكل جرام واحد من المادة،أي كمية الطاقة الحرارية اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من المادة درجة مئوية واحدة .**

**وحدة الحرارة النوعية جول / جم م ( J / g C° )**

**السعة الحرارية المولارية ( Molar Heat Capacity ) هي كمية الطاقةاللازمة لرفع درجة حرارة مول واحد من المادة درجة مئوية . ووحدتها جول / مول م ( J / mol C° )**

**بالنسبة للماء : السعة الحرارية المولارية هي السعة الحرارية لعدد 18 جرام من الماء وتساوي 18 x 4.18 = 75.3 J / mol**

**استخدامات السعة الحرارية**

**بالاعتماد على السعة الحرارية يمكن حساب كمية الحرارة ( q ) اللازمة لرفع درجة حرارة نظام كتلته ثابتة من درجة حرارة ابتدائية ( T1 ) إلى درجة حرارة نهائية ( T2 ) :**

$$q = C ( T2 - T1 )$$

$$q = C \Delta T$$

**بما أن السعة الحرارية = الكتلة x الحرارة النوعية** $C = m \times \rho$

**حيث m = كتلة المادة ، ρ = الحرارة النوعية للمادة .**

**كمية الحرارة المفقودة أو المكتسبة تحسب من العلاقة :**

$$q = C \Delta T = \rho \times m \times \Delta T$$

**مثال ( 1 ) إذا علمت أن 18.5 جرام من معدن معين ، امتصت كمية من الحرارة مقدارها 1170 جول وارتفعت درجة حرارتها من $25^o C$ إلى $92^o C$ ، أحسب الحرارة النوعية للمعدن ؟**

**الحل :**

**$Specific\ Heat = q / m \times \Delta T = 1170 / 18.5 \times (92 - 25)$**

**$= 0.937 J / g\ ^{o}C$**

**مثال ( 2 ) إذا أضيفت 25 جرام من معدن عند درجة حرارة $90^{o}$ C إلي 50 جرام من الماء عند درجة حرارة $25^{o}$ C ، فأن درجة حرارة الماء ترتفع إلى $29.8^{o}C$ . وإذا علمت أن الحرارة النوعية للماء تساوي $4.18 J / g\ C^{o}$ فأحسب الحرارة النوعية للمعدن ؟**

**الحل:**

**كمية الحرارة المكتسبة من قبل الماء تساوي كمية الحرارة المفقودة من المعدن،وعليه فأن كمية الحرارة المكتسبة من قبل الماء( q ) تساوي :**

**$q = m \times \rho \times \Delta T = 4.18 J / g\ C \times 50\ g \times (29.8 - 25) = 1004 J$**

**الآن يمكن حساب الحرارة النوعية للمعدن حيث أن المعدن فقد نفس كمية الحرارة التي اكتسبها الماء ( $q = 1004 J$ ) ودرجة حرارة المعدن النهائية هي نفس درجة حرارة الماء أي :**

**$\Delta T = (29.8 - 90)^{o}C = - 1004 J / 25\ g \times (29.8 - 90)\ ^{o}C = 0.667 J / g\ C^{o}$**

**السعة الحرارية عند حجم ثابت (Cv) وعند ضغط ثابت ( Cp )**

**السعة الحرارية Cv أي الحرارة المكتسبة عند حجم ثابت تستغل فقط لرفع الطاقة الحركية للجزيئات**

**بينما الحرارة المكتسبة عند ضغط ثابت Cp تستغل لعمل شغل معين نتيجة لتمدد وانكماش الغاز إضافة لرفع طاقة حركة الجزيئات .**

**ورياضيا يمكن التعبير عنها كالآتي :**

$$Cv = dE / dT \quad Cp = dH / dT$$

**بالنسبة لغاز مثالي آحادي فأن الطاقة الحركية الانتقالية تساوي ( 3/2R T):**

$$Cv = d ( 3/2 RT ) / dT = 3/2 R \; dT/dT = 3/2 R$$

$$Cv = 3/2 R$$

$$Cp = dH/ dT = d (E + PV) / dT = dE/dT + d (PV) / dT$$

**عند ثبوت الضغط :** $Cp = dE/ dT + P dV/ dT$

**لواحد مول من غاز مثالي :** $PV = RT$

**عند ثبوت الضغط :** $P dV = R dT$

$$Cp = dE/ dT + RdT / dT$$

$= Cv + R$

$Cp = Cv + R$

**الطاقة الحركية للغازات**

**من معادلة النظرية الحركية للغازات $PV = 1/3\ M\ C2$**

**حيث$M$ = الكتلة المولية ، $C$ = السرعة الجزيئية**

**لواحد مول من غاز مثالي : $PV = RT$**

$RT = 1/3\ M\ C2$

**بضرب طرف المعادلة الأيمن في 2 والقسمة على 2 :**

$RT = 2/3 \times 1/2\ M\ C2$

**بما أن الطاقة الحركية = $1/2\ M\ C2$ ، $RT = 2/3\ K.E\ K.E = 3/2\ RT$**

**الطاقة الحركية لواحد مول من الغاز = $3/2\ RT$**

**لعدد $n$ مول = $3/2\ n\ RT$**

**بما أن واحد مول يحتوي على رقم أفوجادرو من الجزيئات ( N )**

**الطاقة الحركية لواحد جزيء يمكن حسابها من المعادلة :**

$K.E = 3/2\ R/N\ T$

$K.E = 3/2 K T$ حيث $K$ = ثابت بولتزمان ، $K = 1.38 \times 10^{-23}\ J\ K^{-1}$

هذا يؤكد أن الطاقة الحركية للغازات تعتمد على درجة الحرارة وليس على نوعية الغاز .

**تحليل الطاقة الحركية في ثلاث اتجاهات**

بتحليل سرعة الجزيء في الثلاث اتجاهات ( x , y , z ) نحصل على :

$$C^2 = C^2_x + C^2_y + C^2_z$$

بالضرب في $1/2\ m$ نحصل على متوسط السرعة $C^2$

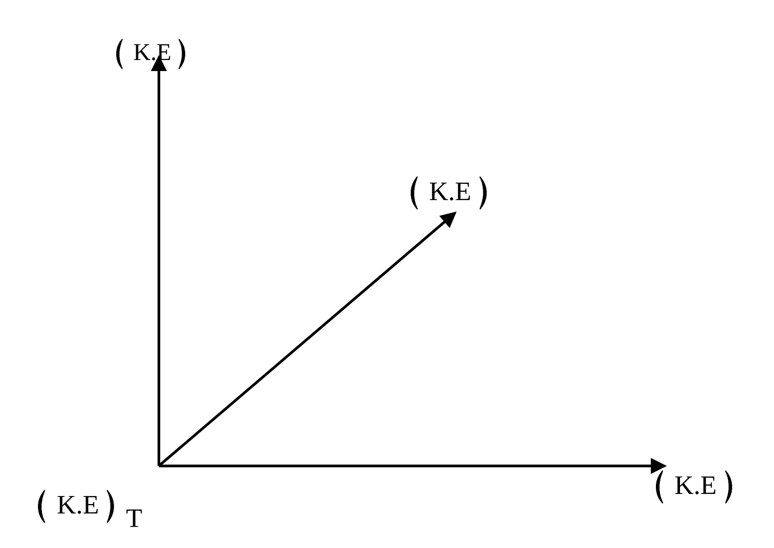
$$1/2\ m C^2 = 1/2\ m C^2_x + 1/2\ m C^2_y + 1/2\ m C^2_z$$

$$K.E = (K.E)_x + (K.E)_y + (K.E)_z$$

بما أن الطاقة الحركية الكلية للجزيء = $3/2\ K T$ وبفرض أن مكونات الطاقة الثلاث متساوية

$$(K.E)_x = (K.E)_y = (K.E)_z = 1/2\ KT$$

$$(K.E)_x = 1/2\ KT * (K.E)_y = 1/2\ KT * (K.E)_z = 1/2\ KT$$




**مثال : أحسب طاقة الحركة لكل من جزيء غاز الهيليوم وجزيء بخار الزئبق عند درجة حرارة 25 C ؟**

**الحل: متوسط طاقة الحركة لجزيء غاز معين عند درجة حرارة معينة تحسب من المعادلة :**

$$K.E = 3/2\ KT$$

**تتساوى طاقة الحركة لجزيء غاز الهيليوم وجزيء بخار الزئبق لأنها لا تعتمد على الكتلة الذرية ولكنها قيمة ثابتة تعتمد فقط على درجة الحرارة.**

**طبيعة الطاقة الداخلية بالنسبة للغازات**

يمكن اعتبار الطاقة الداخلية مكونة من حاصل جمع قيمتين **Two Components** هما :

**طاقة الغاز عند درجة حرارة صفر مطلق $E0 = 0 .0 K$**

**الطاقة المعتمدة على درجة الحرارة = ET**

**بالنسبة لغاز آحادي الذرية وعند درجة الحرارة العادية ET تمثل الطاقة الحركية الانتقالية للذرة وقيمتها تساوي $3/2 RT$ .**

**ومنها $E = E0 + 3/2 RT$**

**بالنسبة لغاز عديد الذرات وغير خطي :**

$$ET = Ee + Ev + Er + Et$$

**Ee & Ev يمكن اعتبار قيمها عند درجات الحرارة العليا فقط ويمكن تجاهلها عند درجات الحرارة العادية . وعليه يمكن إيجاد الطاقة الداخلية من المعادلة :**

$$E = E0 + Ee + Ev + Er + Et$$

تعريف بعض المتغيرات الثرموديناميكية

| المتغير | الاسم | معادلة التعريف | الوحدة الدولية | الرمز |
|---|---|---|---|---|
| P | الضغط | المسافة/ القوة= P | باسكال ، المساحة/ نيوتن | Pa N/ m2 |
| V | الحجم | فراغ ذو ثلاث أبعاد | المتر المكعب | m 3 |
| T | درجة الحرارة | --------- | الكلفن | K |
| n | المول | وزن جزيء/ وزن | المول | Mol |
| w | الشغل | القوة x المسافة = الحجمx الضغط = w | الجول | J |
| q | الطاقة الحرارية | ------------- | الجول | J |

**أنواع الثيرمومترات Types of Thermometer**

**الثيرمومترات هي أجهزة تستخدم لقياس درجات الحرارة ، وهي تعمل من خلال تغير أحد الخصائص الفيزيائية بتغير درجة الحرارة ، مثل خاصية تمدد الأجسام بزيادة درجة الحرارة وتغير الضغط أو مقاومة السلك الكهربي بتغير درجات الحرارة . الجدول التالي يوضح بعض أنواع الثيرمومترات المستخدمة :**

| نوع الثيرموميتر | المادة المستخدمة | الخاصية الطبيعية المتغيرة |
|---|---|---|
| 1 - الثيرمومتر السائل Liquid Thermometer | الزئبق أو الكحول Mercury or Alcohol ( ) | التغير في الطول ( تمدد ) ( Change in Length ) |
| 2 - الثيرمومتر الغازي Gas Thermometer | هيدروجين ( Hydrogen ) | التغير في الضغط ( Change in Pressure ) |
| 3 – ثيرمومتر المقاومة Resistance Thermomete | البلاتين ( Platinum ) | التغير في المقاومة ( Change in Resistance ) |

| 4 – الثيرمومتر الجهدي<br>Potential<br>Thermometer | مادة الكروميل والألو<br>ميل<br>( Chromel & Alumel<br>) | تغير الجهد الكهربي<br>Change in<br>Electrical Pot |
|---|---|---|
| 5 – الثيرمومتر<br>الإشعاعي<br>Radiation<br>Thermomete | البايروميتر<br>( Pyrometer ) | تغير لون الإشعاع<br>Change in<br>Radiation Col |
| 6 - الثيرمومتر<br>المغناطيسي<br>Magnetic<br>Thermometer | ---------------------- | تغير في المجال<br>المغناطيسي<br>Change in<br>Susceptibility |

**من الملاحظ أن جميع الثيرمومترات بالجدول أعلاه تعتمد على تغير الخصائص الفيزيائية بتغير درجات الحرارة مما يجعل عدم وجود تدرج محدد لقياس درجة الحرارة ، حيث أن كل خاصية فيزيائية تتغير بعلاقة محددة مع تغير درجة الحرارة ولهذا لابد من إيجاد مقياس أو تدرج يعبر عن درجة الحرارة بغض النظر عن تغير الخاصية الفيزيائية وعليه تم التفكير في المقياس المئوي والفهرنهايت والمطلق .**

**التدرج المئوي ( Celsius Scale )**

**يعتمد هذا التدرج على نقطة انصهار الماء( تحول من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة ) وهي $0^o$ C**

**ونقطة غليان الماء أي عندما يتساوى ضغطها مع الضغط الجوي وهي 100 $^o$ C**

**التدرج الفهرنهايتي ( Fahrenheit Scale )**

**هنا اعتبرت درجة انصهار الماء $32^o$ F ودرجة الغليان $212^o$ F وعليه تصبح كل $100^o$ C تعادل $180^o$ F ويمكن تحويل الفهرنهايت إلى مئوي بالمعادلة : $C^o$ = 5/9 ( $F^o$ - 32 )**

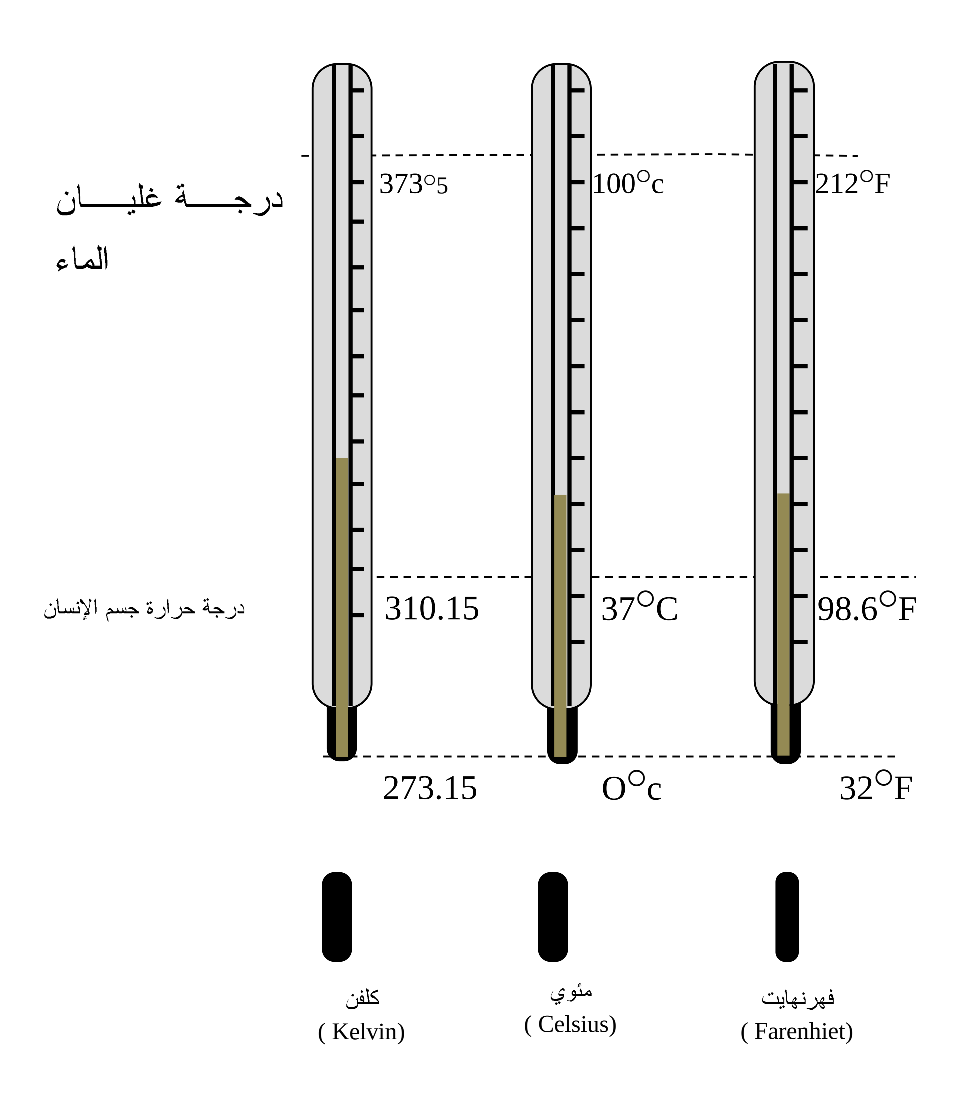
**التدرج المطلق ( Kelvin Scale )**

**في التدرج المئوي والفهرنهايت تم الاعتماد على نوع مادة السائل وهو الماء، حيث تم اعتبار نقطة الانصهار ونقطة الغليان كأساس للتدرج، وبما أن هاتين النقطتين تعتمدان على الضغط وعدد من العوامل الأخرى لذا فأننا بحاجة إلى تدرج مطلق لا يعتمد على طبيعة المادة وهذا ما قام به العالم كلفن في تحديد تدرج مطلق لدرجة الحرارة .**

**قام العالم كلفن بدراسة العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة لعدد من الغازات ووجد أن جميع الغازات يقل ضغطها بنقصان درجة الحرارة وأن الضغط يصبح صفر من الناحية النظرية وذلك عند مد المنحنيات كما في الشكل أدناه وهي تعادل $-273^o$ C . وقد تم اعتبار هذه الدرجة هي الصفر المطلق وأنها لا تتغير بتغير نوع الغاز وعليه تم معايرة باقي التدريجات الأخرى بالنسبة للصفر المطلق .**

**الوحدات الرئيسية لدرجة الحرارة**

**( Main Units for Temperature)**


درجـــــة غليـــــان
الماء
درجة حرارة جسم الإنسان
373°5
310.15
273.15
100°c
37°C
O°c
212°F
98.6°F
32°F
كلفن
( Kelvin)
مئوي
( Celsius)
فهرنهايت
( Farenhiet)
درجة تجمد الماء

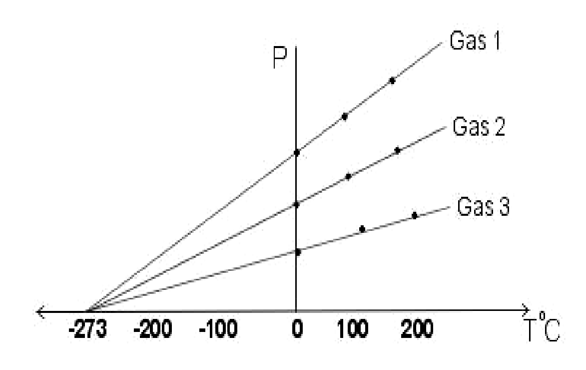
$$F^o = (9/5)\ C^o + 32$$

$$C^o = 5/9\ (F - 32)$$

$$K^o = C^o + 273.15$$

$$K^o = 5/9\ (F - 32) + 273.15$$

**رسم العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة :**




**الشغل (W) Work**

**يعرف الشغل الميكانيكي( Mechanical Work ) بأنه حاصل ضرب القوة في الإزاحة أو الضغط في التغير في الحجم ( ويرمز له بالرمز) w .**

$$W = F\ \Delta L \quad \text{-------------------------} \quad (1)$$

**حيث (W) هو الشغل الناتج من تأثير قوة قدرها (F) على النظام مسافة قدرها ($\Delta$ L) .**

**مثال: تمدد غازموجود داخل اسطوانة مزودة بمكبس متحرك عديم الوزن والاحتكاك مساحة سطحه ( A ) عند ظروف معينة من الحجم والضغط ودرجة الحرارة .**

**عندما يتمدد الغاز يدفع المكبس إلى أعلى ضد ضغط مضاد قدره ( P ) معاكس لاتجاه التغير منجزا شغلا ضد المحيط . وبما أن الضغط هو القوة الواقعة على وحدة المساحة :**

$$P = F / A \ , \quad F = PA \ \text{--------------------} \ (2)$$

**وعليه يكون الشغل المنجز نتيجة للتمدد هو :**

$$W = PA \Delta L \ \text{------------------------------------} \ (3)$$

**وبما أن المكبس ينزاح باتجاه معاكس لاتجاه القوة ، فأن التغير في الحجم ( $\Delta V$ ) يساوي حاصل**

**ضرب مساحة المقطع ( A) في الإزاحة ($\Delta L$) مسبوقا بإشارة سالبة :**

$$\Delta V = - A \Delta L \ \text{------------------------------} \ (4)$$

**وعليه يكون الشغل المنجز : $W = - P \Delta V = - P ( V2 - V1 )$**

**حيث $V1$ تساوي الحجم الابتدائي للغاز، $V2$ تساوي الحجم النهائي للغاز .**

**وتدل الإشارة السالبة على أن طاقة النظام تنخفض عندما يزداد الحجم أي أن النظام يعمل شغلا على المحيط . تعتمد قيمة الشغل على الضغط الخارجي ( P )**

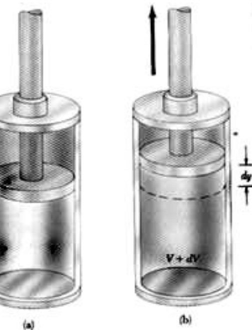
**:**

إذا كانت قيمة (P) تساوي الصفر ، أي أن الغاز يتمدد ضد الفراغ ، فأن الشغل يساوي صفر .

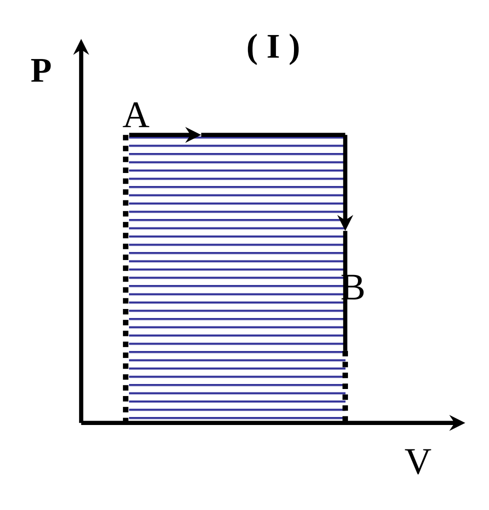
إذا كانت قيمة (P ) موجبة فأن الشغل يعطى حسب المعادلة .

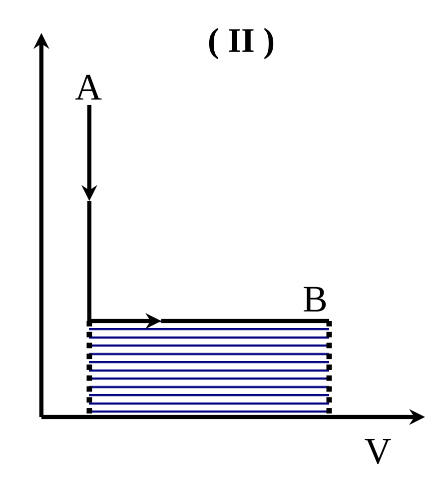
إذا كانت قيمة (P ) أصغر من ضغط الغاز ، فأن الغاز يتمدد ضد المحيط وتكون ( $V_2 > V_1$ ) وعليه تكون قيمة (W) سالبة أي أن النظام أنجز شغلا على المحيط .

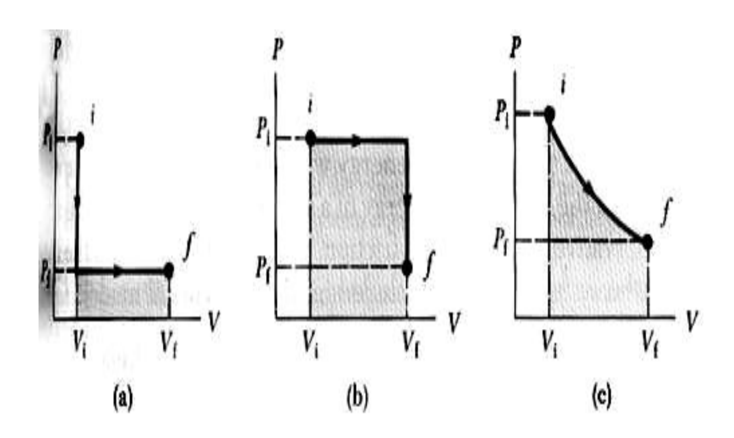
إذا كان ضغط المحيط أكبر من ضغط الغاز فأن الغاز ينكمش وتصبح ( $V_1 > V_2$ ) وتكون قيمة ( W ) موجبة ، أي أن المحـ .



**رسم بياني يوضح إعتماد الشغل على مسار التغير:**






**مثال: إذا تمدد غاز مثالي عند درجة حرارة ( $25^o$ C ) من الحجم 2 لتر إلى الحجم 5 لترات عند ضغط ثابت ، أحسب الشغل المنجز عندما يتمدد الغاز :**

**أ - ضد الفراغ**

**ب - ضد ضغط ثابت مقداره ثلاث جو .**

**الحل:**

**أ - بما أن الضغط المضاد يساوي صفر وحسب معادلة الشغل :**

$$W = -P(V2 - V1) = 0(5 - 2) = Zero$$

**ب - عندما يكون الضغط المضاد يساوي ثلاث جو :**

**$W = -P(V2 - V1) = -3(5-2) = -9$ atm. L**

**$= -9$ atm. L x 101.3 = 911.7 J**

**مثال : إذا علمت أن التغيرات الكيميائية التالية تحدث عند ضغط ثابت :**

**$1 - Sn(s) + 2F_2(g) \longrightarrow SnF_4(s)$**

**$2 - AgNO_3(aq) + NaCl(aq) \longrightarrow AgCl(s) + NaNO_3(aq)$**

**$3 - C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$**

**$4 - SiI_4(g) \longrightarrow Si(s) + 2I_2(g)$**

**حدد في كل حالة هل الشغل يعمل من :**

**قبل النظام على المحيط**

**المحيط على النظام أو أن كمية الشغل قليلة ويمكن إهمالها الحل:**

**1 - في الحالة الأولى يقل حجم النظام لذلك فأن الشغل يعمل على النظام من قبل المحيط .**

**2 - يمكن إهمال الشغل لأنه لا توجد مواد غازية متفاعلة أو ناتجة .**

**3 - التغير في الحجم يساوي تقريبا صفر ، لتساوي عدد المولات الغازية في النواتج والمتفاعلات وعليه يمكن إهمال الشغل أو كميته تساوي الصفر .**

4 - هنالك تمدد ، لذلك فأن النظام يعمل شغلا على المحيط .

مثال: أحسب الطاقة بوحدة السعر الحراري المطلوبة لزيادة حجم مادة بمقدار 1.0 cm3 والتي تكون معاكسة لضغط قدره واحد جو ؟

الحل : الشغل المبذول عندما تتمدد المادة يحسب من المعادلة

$$W = P \Delta V$$

P = 1.0 atm. = 1.013 x 106 dynes /cm2 $\Delta$V = 1.0 cm3

W = 1.013 x 106 x 1 = 1.013 x 106 dynes / c2m (erg )

لتحويل الوحدة إلى السعر الحراري نقسم على 4.2 x 107

W = 1.013 x 106 / 4.2 x 107 = 0.0242 cal

مثال: أحسب الشغل المبذول عندما تذوب 50 جرام من الحديد في حمض الهيدروكلوريك عندما يجرى التفاعل :

أ - في إناء مغلق ب - في إناء مفتوح

**الحل:**

**معادلة التفاعل :** $Fe (s) + 2 HCl (aq) \longrightarrow FeCl_2 (aq) + H_2 (g)$

**واحد مول من الغاز ينتج من تفاعل واحد مول من الحديد وعند إهمال الحجم الأصلي للنظام:**

$$P \Delta V = PV = nRT$$

**عندما يكون الإناء مغلق لا يتمدد الغاز** $W = - P \Delta V = 0$

**عندما يكون الإناء مفتوح** $W = - P \Delta V = - n_{H_2} RT$ **عدد مولات الهيدروجين = عدد مولات الحديد**

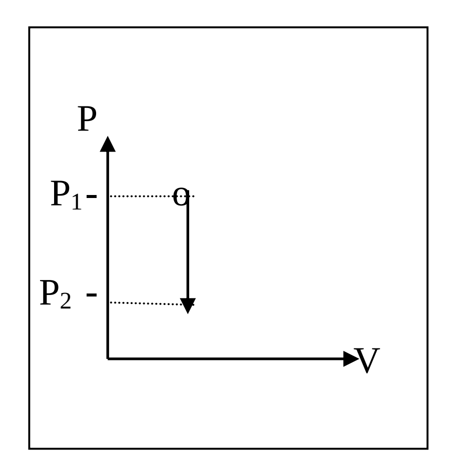
**= 56 / 50 = 89 .0 مول**

$$R = 8.314 \ J / K \ mol \quad , \quad T = 298 \ K$$

$$W = 0.89 \times 8.314 \times 298 = 2.2 \ KJ$$

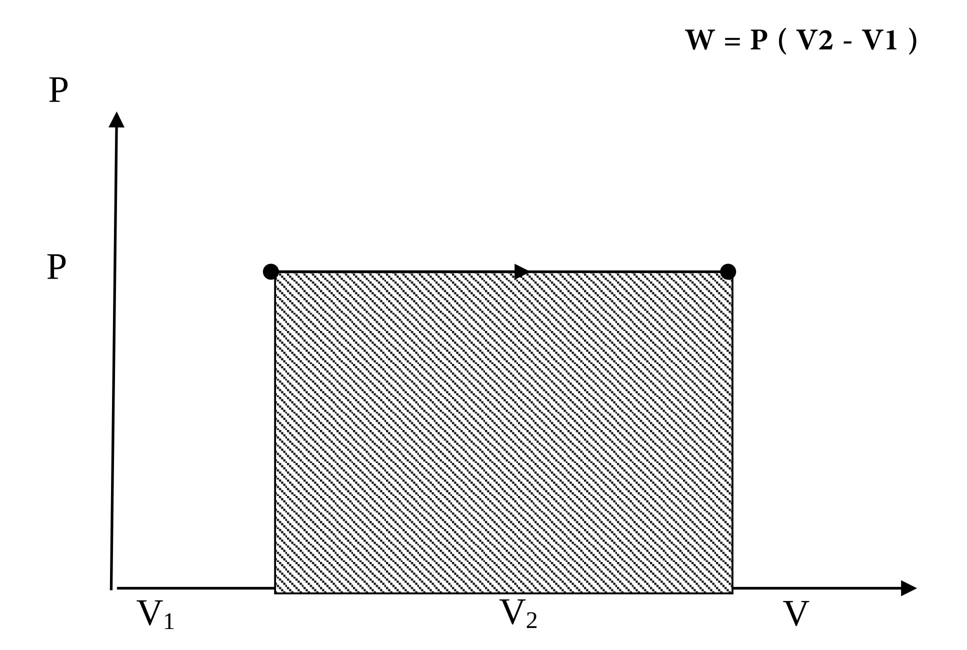
**الشغل المبذول عند ثبوت الحجم :** $(\Delta V = 0)$

$$W = P \Delta V = 0$$




**الشغل المبذول عند ثبوت الضغط :**

**W = P ( V2 - V1 )**



# الفصل الثاني
# قوانين الحركة لنيوتن

**قوانين نيوتن للحركة عبارة عن مجموعة من القوانين الفيزيائية التي تعد أساس الميكانيكا الكلاسيكية،وتربط هذه القوانين القوى المؤثرة على الجسم بحركته وأول من جمعها هو السير أسحق نيوتن، وقد أستخدم هذه القوانين في تفسير العديد من الأنظمة والظواهر الفيزيائية وهي كما يلي:**

**قانون نيوتن الأولNewton's First Law : يظل الجسم على حالته الحركية ( إما السكون التام أو التحريك في خط مستقيم بسرعة ثابتة) ما لم تؤثر عليه قوة تغير من هذا الحالة .** $\sum F = 0$

**قانون نيوتن الثاني:Newton's second law : إذا أثرت قوة أو مجموعة قوى** $\sum F$ **على جسم ما فإنها تكسبه تسارعاً a، يتناسب مع محصلة القوى المؤثرة، ومعامل التناسب هو كتلة القصور الذاتي m للجسم ..أي أن :** $\sum F = ma$

**قانون نيوتن الثالثNewton's third law لكل فعل رد فعل، مساو له في المقدار ومعاكس في الاتجاه.بشرط ان لايتأثر من تلقى الفعل بشكل سلبي يؤثر على رد فعله.مثلا ان تطلق النار على شخص وتقتله فلن يكون هناك رد فعل .**

**قوة الاحتكاكForce of friction : القوة التي تقاوم الحركة بسبب تلامس سطح الجسم المراد تحريكه مع أسطح أخرى .**

**قوة الاحتكاك الساكن Static friction : fs تمثل أقل قوة لتحريك الجسم الساكن ترتبط بالقوة العمودية على سطح الاحتكاك N بالعلاقة: msN = fs حيث يعرف ثابت التناسب ms ( ميو) باسم معامل الاحتكاك الساكن ( Coefficient of Static )**

**قوة الاحتكاك الحركي Kinetic friction وتعرف قوة الاحتكاك بين سطحين لجسمين متحركين fk ترتبط بالقوة العمودية على سطح الاحتكاك N بالعلاقة : mkN = Fk حيث يعرف mk بمعامل الاحتكاك الحركي ( Coefficient of kinetic)**

**قانون نيوتن الأول**

**قانون نيوتن الأولNewton's First Law هو أحد قوانين الحركة التي وضعها العالم الإنكليزي إسحق نيوتن وينص على التالي:**

**يظل الجسم في حالته الساكنة( إما السكون التام أو التحريك في خط مستقيم بسرعة ثابتة) ما لم تؤثر عليه قوة تغير من هذا الحالة .**

$$\sum F = 0$$

يشير القانون الأول للحركة - في علم الفيزياء- أنه إذا كان مجموع الكميات الموجهة من القوى التي تؤثر على جسم ما صفرا، فسوف يظل هذا الجسم ساكنا. وبالمثل فإن أي جسم متحرك سيظل على حركته بسرعة ثابتة في حالة عدم وجود أية قوى تؤثر عليه مثل قوى الاحتكاك .

ولقد استطاع العالم ابن سينا في القرن الرابع الهجري / العاشر الميلادي أن يصوغ في كتابه الإشارات والتنبيهات هذا القانون بلفظه: "إنك لتعلم أن الجسم خلي وطباعه، ولم يعرض له من خارج تأثير غريب، لم يكن له بد من موضع معين، فإذن في طباعه مبدأ استيجاب ذلك".

ويشير إلى خاصية القصور الذاتي للجسم التي بها يدافع عن استمراره في الحركة المنتظمة وهو المعنى الثاني للقانون الأول للحركة فيقول: "الجسم له في حال تحركه ميل (مدافعة) يتحرك بها، ويحس به الممانع ولن يتمكن من المنع إلا فيما يضعف ذلك فيه، وقد يكون من طباعه، وقد يحدث فيه من تأثير غيره فيبطل المنبعث عن انطباعه إلى أن يزول فيعود انبعاثه. وهذا هو القانون الأول لابن سينا.

ويقول في كتابه الشفاء: "... وليست المعاوقة للجسم بما هو جسم، بل بمعنى فيه يطلب البقاء على حاله من المكان أو الوضع...

**وهذا هو المبدأ الذي نحن في بيانه". ويستطرد في تأكيده لذات المعنى مرة أخرى بقوله: "ولكننا إذا حققنا القول، وجدنا أصح المذاهب مذهب من يرى أن المتحرك يستفيد ميلا من المحرك، والميل هو ما يحس بالحس إذا ما حوول أن يسكن الطبيعي بالقسر، أو القسري بالقسر". أي أن الجسم يكون له -حال تحركه- ميل للاستمرار في حركته، بحيث أنه إذا تمت إعاقته أحس الموقف بمدافعة يبديها الجسم للإبقاء على حاله من الحركة سواء كانت هذه الحركة طبيعية أو قسرية.**

**وهذا يعني أن ابن سينا يدلل بأن الجسم إذا لم يتعرض لقاسر خارجي، وترك لطبعه، فإن فيه خاصية تدعو للمحافظة على حالته الطبيعية، وتدافع عن بقائه على ما هو عليه.**

**قانون نيوتن الثاني**

**قانون نيوتن الثانيNewton's second law هو أحد قوانين الحركة التي وضعت من قبل العالم الإنكليزي إسحق نيوتن وينص على التالي :**

**إذا أثرت قوة أو مجموعة قوى $\sum F$ على جسم ما فإنها تكسبه تسارعاً a، يتناسب مع محصلة القوى المؤثرة، ومعامل التناسب هو كتلة القصور الذاتيm للجسم ..أي أن : $\sum F = ma$**

وهذا القانون ويتعلق بدراسة الأجسام المتحركة، وهو ينص بصيغة اخرى على ان أن تسارع جسم ما أثناء حركته، يتناسب مع القوة التي تؤثر عليه، وفي تطبيق هذا القانون على تساقط الأجسام تحت تأثير جاذبية الأرض تكون النتيجة أنه إذا سقط جسمان من نفس الارتفاع فإنهما يصلان إلي سطح الأرض في نفس اللحظة بصرف النظر عن وزنهما ولو كان أحدهما كتلة حديد والآخر ريشة، ولكن الذي يحدث من اختلاف السرعة مرده إلى اختلاف مقاومة الهواء لهما في حين أن قوة تسارعهما واحدة.

وقد تصدى لهذه القضية العديد من علماء الميكانيكا والطبيعيات المسلمين فيقول الإمام فخر الدين الرازي في كتابه "المباحث المشرقية"

"فإن الجسمين لو اختلفا في قبول الحركة لم يكن ذلك الاختلاف بسبب المتحرك، بل بسبب اختلاف حال القوة المحركة، فإن القوة في الجسم الأكبر،

أكثرمما في الأصغر الذي هو جزؤه لأن ما في الأصغر فهو موجود في الأكبرمع زيادة"، ثم يفسر اختلاف مقاومة الوسط الخارجي كالهواء للأجسام الساقطة فيقول: "وأما القوة القسرية

**فإنها يختلف تحريكها للجسم العظيم والصغير لا لاختلاف المحرك بل لاختلاف حال المتحرك فإن المعاوق في الكبير أكثر منه في الصغير، وهكذا نجد أن المسلمين قد اقتربوا إلى حد بعيد جداً إلي معرفة القانون الثاني.**

**قانون نيوتن الثالث**

**قانون نيوتن الثالث (Newton's third law) هو أحد قوانين الحركة التي وضعها إسحق نيوتن وينص على التالي:**

**"لكل قوة فعل قوة رد فعل، مساوي له في المقدار ومعاكس له في الاتجاه يعملان في نفس الخط"**

**فمثلا لا يطير الصاروخ أو المكوك الفضائي إلا بسرعة 11 كلم في الثانية لتحدي قوة جاذبية الأرض أي بسرعة 39600 كلم في الساعة.**

**فالجسم يبذل قوة لأنه يتفاعل مع جسم آخر. فالقوة التي يبذلها جسم (1) على جسم (2) لا بد أن تكون من نفس الحجم ولكن في اتجاه معاكس للقوة التي يبذلها الجسم 2 على الجسم 1 . على سبيل المثال، إذا قام شخص بالغ كبير بدفع طفل على زلاجة دفعا خفيفا، فبالإضافة إلى القوة التي يمنحها البالغ للطفل، فإن الطفل يمنح للبالغ قوة مساوية ولكن في اتجاه عكسي. ومع هذا،**

وحيث أن كتلة البالغ أكبر، فسوف تكون عجلة البالغ أقل.

ويورد ابن ملكا البغدادي في كتابه المعتبر : "أن الحلقة المتجاذبة بين المصارعين لكل واحد من المتجاذبين في جذبها قوة مقاومة لقوة الآخر. وليس إذا غلب أحدهما فجذبها نحوه يكون قد خلت من قوة جذب الآخر، بل تلك القوة موجودة مقهورة، ولولاها لما احتاج الآخر إلى كل ذلك الجذب".

ويورد فخر الدين الرازي نفس المعنى في كتابه المباحث المشرقية إذ يقول: "الحلقة التي يجذبها جاذبان متساويان حتى وقفت في الوسط، لا شك أن كل واحد منهما فعل فيها فعلا معوقا بفعل الآخر... ثم لا شك أن الذي فعله كل واحد منهما لو خلا عن المعارض لاقتضى انجذاب الحلقة إلى جانبه، فثبت وجود شيء لو خلا عن المعوق لاقتضى الدفع إلى جهة مخصوصة...".

ويقول ابن الهيثم في كتابه المناظر : "المتحرك إذا لقي في حركته مانعا يمانعه، وكانت القوة المحركة له باقية فيه عند لقائه الممانع، فإنه يرجع من حيث كان في الجهة التي منها تحرك، وتكون قوة حركته في الرجوع بحسب قوة الحركة التي كان تحرك بها الأول، وبحسب قوة الممانعة".

**احتكاك**

**الاحتكاك هي القوة المقاومة التي تحدث عند تحرك سطحين متلاصقين باتجاهين متعاكسين عندما يكون بينهما قوة ضاغطة تعمل على تلاحمهما معا (وزن أحد الجسمين مثلا). وتنتج كمية من الحرارة.**

**يحدث الاحتكاك بين المواد الصلبة، السائلة و الغازية أو أي تشكيلة منهم.**

**وقوة الاحتكاك هي حاصل ضرب القوة الضاغطة بين الجسمين في معامل الاحتكاك.**

**قح = قض X μ حيث: قح: قوة الاحتكاك قض: القوة الضاغطة بين الجسمين أو القوة العمودية على السطح الفاصل بينهما μ: معامل الاحتكاك، إما الساكن(μس) أو الحركي(μح)**

**يعتبر الاحتكاك قوة تطبق في الاتجاه العكسي لسرعة الجسم. فمثلا إذا دُفع كرسي على الأرض نحو اليمين تكون قوة الاحتكاك متجهة إلى اليسار. تنشأ قوة الاحتكاك بين الأجسام نتيجة وجود نتوءات وفجوات بين الأسطح فكلما كانت الأسطح ملساء كلما قلت تلك القوة. أثناء تحرك الجسم على السطح ، تصطدم كل من النتوءات الصغيرة الموجودة عليه**

وذلك السطح، وحينئذ تكون القوة مطلوبة لنقل النتوءات بجانب بعضها الآخر. وتعتمد منطقة الاتصال الفعلي على القوة العمودية بين الجسم والسطح المنزلق. وتتناسب هذه القوة الاحتكاكية مع إجمالي القوة العمودية

وتعادل هذه القوة غالبا وزن الجسم المنزلق تماما. و في حالة الاحتكاك الجاف المنزلق حيث لا يوجد تشحيم أو تزييت، تكون قوة الاحتكاك مستقلة عن السرعة تقريبا. كما أن قوة الاحتكاك لا تعتمد على منطقة الاتصال بين الجسم والسطح الذي ينزلق عليه. وتعتبر منطقة الاحتكاك الفعلية منطقة صغيرة الحجم نسبيا، وتعرف منطقة الاحتكاك بأنها تلك المنطقة التي يحدث فيها تلامس فعلي بين كل من النتوءات الصغيرة الموجودة على الجسم والسطح الذي ينزلق عليه.

معامل الاحتكاك:

معامل الاحتكاك هو كمية عددية تستخدم للتعبيرعن النسبة بين قوة الاحتكاك بين جسمين والقوة الضاغطة بينهما، و ليس له وحدة قياس . ويعتمد على مادتي الجسمين .مثلا الجليد على المعدن لهما معامل احتكاك قليل (أي إنهما ينزلقان على بعض بسهولة).

**أما المطاط على الإسفلت فلهما معامل احتكاك عالي جدا ( لا ينزلقان على بعض)، انظر الجدول. μس السطح 2 السطح 1 0.06 جليد خشب 0.02 - 0.1 ثلج نحاس أصفر 0.07 معدن ( مشحم ) معدن 0.25 خشب بلوط خشب بلوط 0.5 - 0.9 خرسانة ( مبللة ) مطاط 0.7 - 1 خرسانة جافة مطاط معامل الاحتكاك الساكن لبعض المواد.**

**يعتبر معامل الاحتكاك كمية تجريبية، أي انه يجب قياسه عن طريق التجربة ولا يمكن حسابه بالمعادلات الرياضية. كما إن معظم المواد الجافة مع بعضها تعطي معامل احتكاك بين 0.3 و 0.6. و من الصعب الحصول على قيمة خارج هذا المجال. إن قيمة 0 لمعامل الاحتكاك تعني أنه لا يوجد احتكاك بالمرة وسينزلق الجسمان على بعضهما إلى ما لا نهاية. ويكون معامل الاحتكاك الساكن أكبر من الحركي لأن النتوءات والفجوات الموجودة بين أسطح الأجسام المتلاصقة تتداخلان في بعضهما فتسببان مقاومة السطحين للانزلاق. ولكن إذا بدأ الجسم في الانزلاق فلن يتوفر الوقت اللازم للسطحين لكي يتلاحما تماماً كل مع الآخر.**

**أنواع الاحتكاك:**

**الاحتكاك الساكن:**

**يحدث الاحتكاك الساكن عندما يكون الجسمان غير متحركان بالنسبة إلى بعضهما البعض (مثل الطاولة على الأرض). معامل الاحتكاك الساكن يرمز له بالرمز (µس). القوة الابتدائية اللازمة لتحريك هذا الجسم تكون عادة أكبر بقليل من قوة الاحتكاك الساكن.**

**الاحتكاك الحركي:**

**يحدث الاحتكاك الحركي عندما يتحرك الجسمين بالنسبة إلى بعضهما البعض و يحتك احدهما بالآخر(مثل مز لجة على الأرض). معامل الاحتكاك الحركي يرمز له بالرمز (µح). و يكون عادة اقل من معامل الاحتكاك الساكن.**

**أمثلة على الاحتكاك الحركي:**

**الاحتكاك الانزلاقي: يحدث عندما يحتك جسمين صلبين ببعضهما البعض (مثل تحريك كتاب على الطاولة).**

**الاحتكاك المائع (احتكاك الموائع): يحدث عندما يتحرك جسم صلب خلال مادة سائلة أو غازية (مثل مقاومة الهواء لحركة الطائرة، أو مقاومة الماء لحركة الغطاس).**

**الاحتكاك الدحروجي: يحدث عندما يتحرك الجسمين بالنسبة إلى بعضهما البعض. لكن "يتدحرج" أحد الجسمين على الآخر (مثل عجلات السيارة على الأرض).**

**الطاقة المفقودة بسبب الاحتكاك: عندما يتحرك جسم على سطح بمعامل احتكاك حركي(μح) و قوة عمودية(قع) تكون كمية الطاقة المفقودة بسبب الاحتكاك U تساوي: U = μح X قع X ف حيث ف هي المسافة المقطوعة بواسطة الجسم. هذه المعادلة مماثلة للمعادلة (الطاقة المفقودة=القوةXالمسافة) و هذا لأن الاحتكاك كمية غير متجهة. مع ملاحظة إن هذه المعادلة تنطبق على الاحتكاك الإنزلاقي فقط و ليس الدحروجي.**

**فوائد الاحتكاك:**

**كثيرا ما ننظر إلى قوة الاحتكاك على أنها قوة مبددة ، ومعيقة لحركة الأجسام ،وعندما نحسب الشغل المبذول ضد الاحتكاك نعتبره شغلا ضائعا ونحاول في الكثير من التصاميم الميكانيكية تقليل قوى الاحتكاك إلى أقل قدر ممكن بغية تحقيق أداء أفضل للآلات والماكينات ولكن.. هل الاحتكاك ضار إلى هذا الحد؟ وما الذي سيحدث لو أن الاحتكاك في لحظة ما قد اختفى من العالم، أي أصبح صفرا؟**

إذا اختفى الاحتكاك فلا بد إن السيارات والقطارات وجميع وسائل المواصلات لن تستطيع أن تتحرك لأنها تتحرك بواسطة الاحتكاك بين الأرض و العجلات. و حتى لو تحركت فإنها لن تستطيع أن تتوقف، لأن الفرامل تعتمد أساسا على الاحتكاك.كما لن يستطيع الناس السير أو حتى الوقوف وقفة سليمة، و كأنهم واقفون على أرضية جليدية. و لن يستطيعوا أن يمسكوا بأي شيء لأنه سينزلق من أيديهم. كما ستتفتت الجبال و لن يبقى عليها أي غطاء من التربة .و لن تبقى أي بناية سليمة بل ستتهدم. وستفك الحبال المربوطة. كل هذا بسبب الانزلاق و انعدام الاحتكاك. باختصار، الحياة مستحيلة بدون احتكاك.

فللاحتكاك فوائد مهمة؛ فهو يجعل عجلات السيارة تتحرك على الرصيف، ويجعل عجلات القاطرة تمسك بقضبان السكك الحديدية. وهو يسمح للسير الناقل بأن يدير البكرة دون انزلاق. وأنت لا تستطيع السير دون الاحتكاك لتمنع حذاءك من التزحلق على الرصيف. ولهذا فمن الصعب السير على الجليد؛ حيث إن السطح الأملس يسبب احتكاكاً أقل من الرصيف، وبذلك يسمح للحذاء بالانزلاق. ويثبت التربة على سطح الجبال و يثبت البنايات ويجعلها قائمة. ويجعل الحبال المربوطة تبقى ثابتة. بالإضافة إلى العشرات إن لم يكن المئات من الفوائد الأخرى.

مساوئ الاحتكاك:

على الرغم من أهمية الاحتكاك واستحالة الحياة بدونه كما رأينا،إلا إن له مساوئ عديدة قد تؤدي إلى أضرار كبيرة على المدى البعيد. الشغل المبذول بواسطة الاحتكاك يتم تحويله إلى تشوه و حرارة. ففي الآلات، يجعل الاحتكاك جزءا كبيرا من الطاقة المبذولة يذهب سدى. ويحولها إلى حرارة تتطلب المزيد من التبريد. وأحيانا يؤدي الاحتكاك إلى ذوبان بعض الأجسام كما يؤدي إلى التشوه، والتشوه في الأجسام صفة متلازمة مع الاحتكاك. مع انه قد يكون مفيدا في بعض الحالات (مثل صقل الأجسام).

إلا انه عادة يكون مشكلة، لأن الأجسام تبلى و تفقد قدرتها على التحمل، وقد تتعطل بعض الآلات. وعلى المدى الطويل يمكن أن تؤثر على خصائص السطوح وقد تؤثر على معامل الاحتكاك نفسه، و تستطيع أن ترى هذا بنفسك في إطارات السيارات القديمة، حيث يكون سطحها أملس تماما.

هذه هي مساوئ الاحتكاك في الحياة العملية. و قد كان و ما زال للاحتكاك اثر سلبي في تطور العلم، فقد تأخر استنتاج قوانين الحركة لسنوات عديدة بسبب الاحتكاك. و لأن الحرارة والحركة المتولدة عن الاحتكاك تتبدد بسرعة، فقد استنتج العديد من الفلاسفة القدماء (ومنهم أرسطو) إن الأجسام المتحركة تفقد من طاقتها بدون وجود قوة معاكسة لها. وهذه النظرية الخاطئة لم تكن لتصاغ لولا الاحتكاك.

طرق تقليل الاحتكاك

الأجهزة: مثل العجلات أو الأنابيب الدوارة المستخدمة في المطارات لنقل الحقائب من مكان إلى آخر. والتي تحول الاحتكاك الإنزلاقي إلى احتكاك دحروجي. و الذي يقلل من الاحتكاك.

التقنيات: إحدى التقنيات التي يستعملها مهندسو القطارات هي جعل الروابط بين مقطورات القطار رخوة. و هكذا يستطيع القطار أن يسحب كل مقطورة على حدة بدلا من سحبها جميعا. وهذا يقلل الاحتكاك الكلي و يجعله موزعا على الزمن.

المزلقات أو سوائل التزليق:

من أهم الوسائل المستخدمة لتقليل الاحتكاك هي استخدام المزلقات، مثل الزيوت والشحوم. فالزيت يقلل الاحتكاك. فمعامل الاحتكاك لحديد متدحْرج على خشب مزيت على سبيل المثال يصبح أقل كثيرا من 0,018، لأن نوع السطح ليس له أثر تقريباً عندما يكون مغطى بالزيت أو بسوائل أخرى، وحينئذ

يعتمد الاحتكاك على لزوجة السائل والسرعة النسبية بين الأسطح المتحركة. مع ان معظم المزلقات تكون سائلة، إلا إن بعضها صلب مثل التلك و الجرافيت.

والمزلقات السائلة تكون ذات " لزوجة" قليلة توضع بين سطحين لتقليل معامل الاحتكاك بدرجة كبيرة. والسوائل اللطيفة أقل لزوجة من السوائل الغليظة، وأسرع تدفقًا. فاللزوجة خصيصة من خصائص الموائع تجعلها تقاوم التدفق. وهي تحدث نتيجة للاحتكاك الداخلي لجزيئات السائل التي يتحرك بعضها قبالة بعض. فالمائع ذو اللزوجة المنخفضة (صابون مثلا)، يتدفق بسرعة أكبر من المائع ذي اللزوجة العالية (صمغ مثلا).

ولجميع الموائع، بما في ذلك السوائل، و الغازات، درجة معينة من اللزوجة. وبعض المواد التي تبدو صلبة، مواد ذات لزوجة عالية وتتدفق ببطء شديد ومثال ذلك القار. ودرجة اللزوجة مهمة جداً في العديد من الاستعمالات. فعلى سبيل المثال، تحدد لزوجة زيت المحرك كفاءته في تشحيم أجزاء محرك السيارة.

وكلما كان تداخل جزيئات السائل أكثر قوة، كان للسائل لزوجة أكبر. وعموماً، كلما كان حجم أو طول الجزيء أكبر، كان التداخل أقوى. وتحدد درجة حرارة المائع قوة تداخل جزيئاته، حيث تتداخل الجزيئات في المائع أكثر كلما انخفضت درجة الحرارة. وهكذا، فإن الموائع الساخنة تكون ذات لزوجة أقل من لزوجة الموائع الباردة. ولكن جزيئات الغاز تتداخل بقوة أكثر في درجة حرارة عالية. لذلك فإن لها لزوجة أكبر من لزوجة الغازات الباردة. وإحدى

طرق زيادة لزوجة سائل هي إذابة البوليمرات (سلاسل جزيئية طويلة) فيه. وتصبح هذه الجزيئات متشابكة فتقاوم التدفق. كذلك، فإن إضافة جسيمات صلبة للمائع يزيد أيضًا من درجة اللزوجة.

**الالتحام البارد:**

**مع انه كلما زادت الخشونة زاد الاحتكاك. لكن إذا وضع سطحين ناعمين جدا (قريبين من النعومة التامة) من المعدن مع بعض وأزيلت الشوائب بينهما تماما بواسطة الفراغ ، فانهما سيلتصقان مع بعض و يصبح من الصعب فصلهما وهو ما يسمى بـ "الالتحام البارد".**

**هذا يعني انه عندما يصل الجسم إلى مرحلة قريبة من النعومة التامة. يصبح الاحتكاك معتمدا على طبيعة القوى الجزيئية في مساحة الالتحام. لذا فإن الأجسام المختلفة التي لها نفس درجة النعومة قد يكون لها معاملات احتكاك مختلفة جدا .**

# الفصل الثالث

# تحضير معقد بلوري سائل من ليكاندات قواعد شف و دراسة بعض الخصائص الحرارية له

تعرف الأطوار البلورية السائلة بأنها أطوار مميزة للمواد ينحصر تكوينها بالمدى الواقع بين الحالة الصلبة ( Solid State ) التي تكون فيها الجزيئات مقيدة وذات نظام هندسي ثلاثي الأبعاد وبين الحالة السائلة( Liquid State ) التي تمتلك فيها الجزيئات عشوائية الحركة ، ويتمثل فيها بوضوح نقص في الانتظام الجزيئي ( Molecular Order ) ، وعلى الرغم من إن البلورات السائلة تمتلك خواص تعود إلى كلتا الحالتين الصلبة والسائلة إلا إنها تمتلك مميزات خاصة بها غير موجودة في كلتيهما مصحوبة بزيادة في الانتروبي [S'erway and Beichner,2002].

درس الباحث ( Guenter Ahlers وجماعته 1994 ) التوصيلية الحرارية للبلورة السائلة النيماتية ( 4-n-pentyl-4-cyanobiphenyl ) وبينوا بان قيم التوصيلية الحرارية للبلورة السائلة المستعملة تزداد زيادة طفيفة مع زيادة درجات الحرارة وهذا يقود إلى أن قيم الحرارة النوعية تزداد ايضاً ، فيما تقل قيم الانتشار الحراري مع درجات الحرارة وتطابق نصوص العلاقات الرياضية ,.Ahlers and et.al ]. 1994]

درس الباحثان (Kiyohi Torizuka and Hiroyuki Tajima 2005 ) تقنية قياسات التوصيلية الحرارية للمواد العضوية لمدى درجات حرارية عالية ، حيث تمكنا من تطوير تقنية التوصيلية الحرارية لنماذج عضوية ولمديات حرارية واسعة امتدت من ( 4 K ) إلى درجة حرارة الغرفة (393 K) ، وكذلك نجحا في قياس الانتشار الحراري في الجزيئات البلورية العضوية ووجدا بأنها تساوي (1W/K) وذلك باستخدام طرائق متغايرة [Torizuka and Tajima , 2005] .

إن الهدف من الدراسة هو قياس التوصيلية الحرارية ، الحرارة النوعية والانتشار الحراري لمركب ميزوجيني بلوري سائل نيماتي الطور ، عضوي مشتق من البنزدين ، وذلك للأهمية الكبيرة والمتزايدة لهذه المواد في المجالات التطبيقية والصناعية وخاصةً في أجهزة العرض والتطبيقات الطبية .

الجزء النظري :

بعد إن يتم ربط الدائرة الكهربائية ، تحسب كمية الحرارة المتدفقة عبر العينة (Q) باستخدامالعلاقة [Bueche. J and Hecht. E , 1997]:

$$Q = I V \qquad (1)$$

**حيث (I) تمثل التيار المار عبر السخان بوحدات الامبير بواسطة الاميتر المربوط على التوالي مع السخان، (V) الفولتية عبر السخان بوحدات الفولت.**

**يحسب التوصيل الحراري ($\lambda$) باستخدام العلاقة التالية:**

$$\lambda = Q\,L / A \triangle T \qquad (2)$$

**حيث أن L يمثل سمك العينة، A مساحة المقطع العرضي للعينة، $\triangle T$ الفرق في درجات الحرارة على طرفي العينة. وبلغت قيمة Q = 0.41571 Watt حيث كانت قيمة التيار I = 0.298 Amp اما الفولتية فتعادل V = 1.395 Volt.**

**باستخدام العلاقة رقم (2) يمكن حساب التوصيل الحراري $\lambda$ للعينات في مدى درجات الحرارة (293-333 K) حيث تقاس $\lambda$ بوحدات (W/cm.K).**

**لغرض حساب الحرارة النوعية للمادة البلورية السائلة المحضرة ، يتم تثبيت درجة حرارة الفرن على الدرجة الحرارية (293K) ويمرر تيار عبر السخان بقيمة معينة بواسطة الاميتر المربوط على التوالي مع السخان، وكذلك الفولتية عبر السخان.**

**تحسب كمية الحرارة المتدفقة عبر العينة (Q) من العلاقة رقم (1).**

**تبقى درجة حرارة الفرن ثابتة عند (293 K) بينما يتم تغيير درجة الحرارة المتدفقة عبر العينة بتغيير قيم كل من التيار والفولتية وتعاد العملية مرات عدة ولقراءات مختلفة للتيار والفولتية. تم حساب الحرارة النوعية (C) من العلاقة التالية**

**[Bueche. J and Hecht. E , 1997]**

$$\frac{\Delta Q}{\Delta T} = mC \qquad (3)$$

**حيث** $\frac{\Delta Q}{\Delta T}$ **تمثل الميل من رسم العلاقة بين** $\Delta T, \Delta Q$ .

**m تمثل كتلة العينة ومقدارها (2 g).**

**يُعاد العمل السابق نفسه بالنسبة للدرجة الحرارية (298 K) حيث تُثبت هذه الدرجة الحرارية على الفرن الحراري ويتم تغيير كمية الحرارة المتدفقة عبر العينة وبنفس القيم السابقة التي تم تسجيلها للتيار والفولتية عند الدرجة (293 K). هكذا بالنسبة للدرجات الحرارية الأخرى وصولاً إلى الدرجة الحرارية (328 K).**

**بعد الحصول على قيم معامل التوصيل الحراري ($\lambda$) والحرارة النوعية (C)**

**يتم الحصول على قيم الأنتشار الحراري ($\alpha$) بوحدات ( cm2/Sec) من العلاقة [Abood ,1992 , Walker ,2002 ]:**

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho C} \qquad (4)$$

**حيث $\rho$ هي الكثافة الكتلية للعينة، وتساوي نسبة كتلة العينة m إلى حجمها V، حيث يحسب الحجم V من العلاقة التالية:**

$$V = \pi R2\ L \quad (5)$$

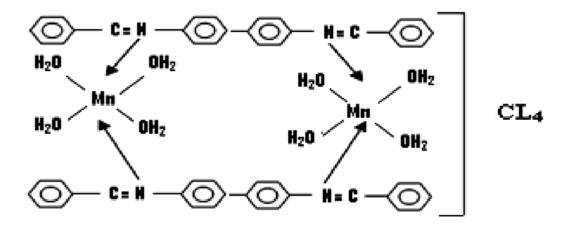
**علماً إن L هو سمك العينة ويساوي (0.13 cm)، أما R فهو نصف قطر العينة ويساوي (0.8 cm). عليه فأن حجم هذه العينة يساوي( 0.2612 cm3 ). فإذا كانت كتلة هذه العينة هي ( m = 2 g )، فأن الكثافة الكتلية تصبح ($\rho$ =7.66 g/cm3).**

**الجزء العملي :**

**تم أخذ( 2gm )من مسحوق الليكاند( K1 )وأذابته في (20ml ) مـن محلول الايثانول المطلق بالإضافة إلى الأسيتون،وخلط المزيج مع (4.3ml) من ثنائي كلوريد المنغنيز المائي ( MnCl2.4H2O ) المذاب ( 20ml ) من محلول الايثانول المطلق أيضا . وقد صب المزيج في دورق سعة**

**(100 ml ) ، بعدها ترك ليجف بدون ترشيح لمدة ثلاثة أيام ، وبهذا حصلنا على المعقد البلوري السائل bis (benzidine bis benzylidine) Chloride.di**

**ManganeseΠ ، ذو اللون الأصفر المخضر الشاحبذو الصيغة الكيميائية :**



**طريقة العمل :**

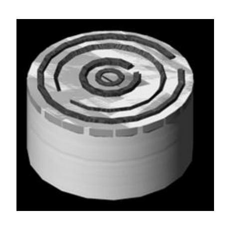
**العينة المستخدمة كانت بسمك ( 0.13 cm ) وبقطر ( 1.6 cm )والتي تم الحصول عليها مختبريا وكبسها بمواصفات تلائم طبيعة الدراسة من حيث الشكل والكتلة والوزن ألجزيئي ، وقد أجريت التجربة على المادة البلورية السائلة ولأول مرة في مختبر المواد المتقدم في قسم الفيزياء- كلية العلوم- جامعة بابل**

**تـم دراسة سلوك التوصيل الحراري للعينات بتغير درجة الحرارة وضمن مدى درجات الحرارة ما بين (K 293-328 ) .**

**تم تصنيع جهاز قياس التوصيلية الحرارية محلياً من قبل [Abood ,1992] ، وتمت كافة الاختبارات السابقة على بوليمرات ذات اوزان جزيئية عالية ومادة بلورية سائلة شبيهة ، والذي يتكون من جزئين رئيسين :**

**1- السخان :**

**وهو عبارة عن قرص دائري مصنوع من مادة النحاس لتميزه بانتظام وسرعة توزيع الحرارة فيه . يبلغ سمك السخان( 0.8 cm ) وقطره ( 1.6 cm ) أي بنفس قطر العينات المحضرة من مواد بلورية سائلة والمراد اجراء الدراسة عليها لامكانية توزيع الحرارة على مساحة العينة بالتساوي . حُفرت في القرص اربعة اخاديد وعلى وجه واحد فقط. يمرر عبر هذه الاخاديد سلك من الكونستنتان ذو مقاومة عالية، وقد تم عزل السلك كهربائياً عند الاستعمال وذلك بطلائه بطبقة من الورنيش. يُغطى الوجه المحفور من القرص بصفيحة رقيقة من النحاس سمكها ( 0.08 cm ) بعد تثبيت السلك فيه ، كما مبين في الشكل (1).**



**الشكل رقم (1) رسم تخطيطي لشكل السخان .**

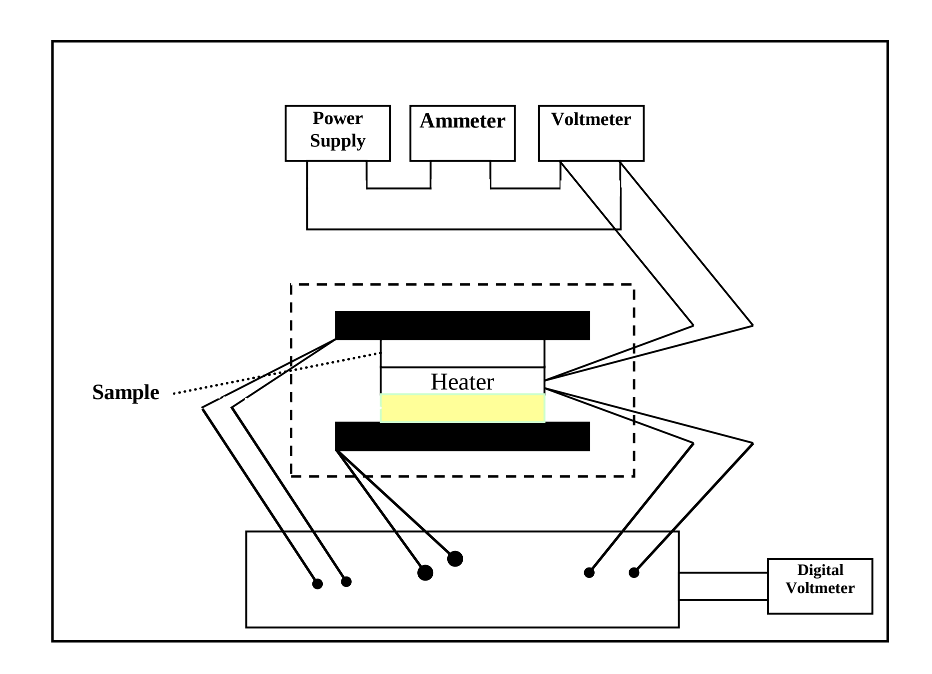
2- صفيحتا الضغط :

وهما عبارة عن قرصين من النحاس، سمك الواحدة منها ( 0.5 cm ) وقطرها ( 10 cm ) تحتوي كل منهما على أربعة ثقوب يمرر من خلالها لوالب عديمة الرأس (Studs) لغرض ربط الصفيحتين مع بعضهما. تستخدم الصفيحتين لتثبيت العينة المراد استخدامها وقياس التوصيل الحراري لها.

يتم تثبيت مزدوجات حرارية على كل من السخان وصفيحتي الضغط بطريقة اللحام ، والمزدوجات الحرارية عبارة عن أسلاك نحاس وكونستنتان ذو قياس ( 38 SWG ).

تم وضع العينة البلورية السائلة المحضرة وتثبيتها على احد أوجه السخان بوساطة صفيحتي الضغط وبعد ذلك يوضع الجهاز داخل فرن حراري يتم بوساطته السيطرة على درجة الحرارة . تم تهيئة الملتقيات الباردة للمزدوجات الحرارية وإكمال ربط الدائرة الكهربائية بوجود فولتميتر رقمي، كما في الشكل رقم (2) الذي نلاحظ فيه وجود مجهز قدرة ذي تيار مستمر بوساطته يتم تجهيز السخان بالحرارة، ثم تثبت درجة حرارة العينة عند الدرجة الحرارية ( 293 K ) بوساطة الفرن الحراري المبرمج وبمساعدة محرار حراري لحين الوصول إلى حالة الاستقرار للجهاز،

أي عند ثبات قراءة الفولتميتر الرقمي الذي يسجل قراءة المزدوج الحراري الذي يتحسس بدرجة حرارة العينة ، ثم تسجيل قراءة المزدوجات الحرارية التي تتحسس بدرجة حرارة الصفيحتين العليا والسفلى.




الشكل رقم (2) الدائرة الكهربائية المستعملة في القياس .

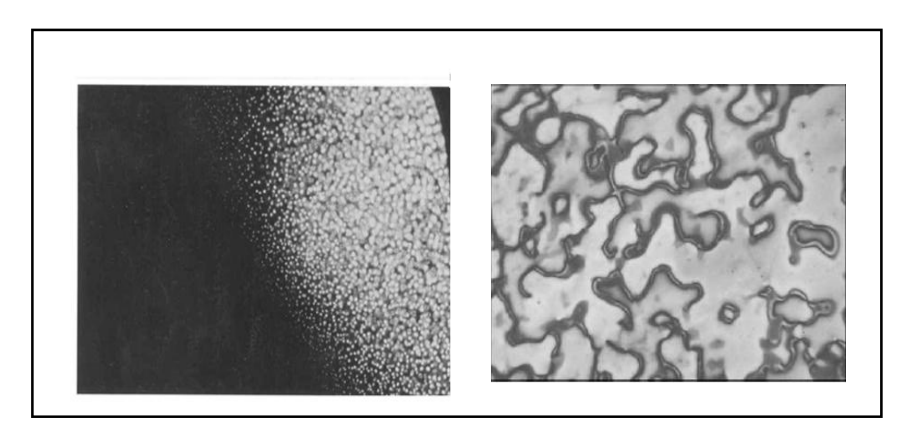
النتائج والمناقشة :

تم تعيين نوع الطور البلوري السائل للمركب الميزوجيني المحضر من ليكاندات قواعد شيف من خلال المعاينة المجهرية للتركيب النسيجي الشبيكي له بوساطة المجهر ذي الضوء المستقطب المجهز بمسخن حراري وآلة تصوير أوتوماتيكية ، حيث لوحظ إن هناك توافقا بين الدرجات الحرارية لانتقالات الأطوار الوسطية و الايزوتروبية ، وعند تشخيص الأشكال المجهرية أظهرت بالتسخين الطور النيماتي الاعتيادي للمركب الميزوجيني المحضر ، وكذلك عند تبريد السائل الايزوتروبي ظهر الشكل

النسيجي النيماتي الاعتيادي أيضا .

وهذا يتوافق مع القيم القياسية المقيسة لمركبات شبيهة

[Al – Hamadani , 2010] . الصور الفوتوغرافية الآتية توضح التركيب النيماتي الاعتيادي للمركب المحضر في حالتي التسخين والتبريد .



**( a ) ( b )**

**صورة ( 1 ) الطور النيماتي الاعتيادي a : عند التبريد ، b : عند التسخين .**

**تبين من خلال جهاز المجهر ذي الضوء المستقطب بان المركب المحضر نيماتوجين نقي يظهر الطور النيماتي الاينانشوتروبي ( ثنائي الحالة الوسطية ) فقط بالتسخين والتبريد.**

**الجدول رقم (1) يبين قيم التوصيل الحراري للمركب الميزوجيني المحضر كدالة لدرجة الحرارة في مدى درجات الحرارة (293-328 ) K . نلاحظ أن التوصيل الحراري ($\lambda$ = 8*10-3 W/cm.K) عند الدرجة الحرارية (293 K) ، وتزداد قيمه فتصبح ( $\lambda$ = 94*10-3 W/cm.K ) عند الدرجة الحرارية ( 318 K )**

**وتستمر بالزيادة حتى تصبح قيمتها ( $\lambda$ = 97*10-3 W/cm.K ) عند الدرجة الحـــرارية (328 K) لتزداد بعدها وهذا واضح من ملاحظة الشكل رقم (3) الذي يبين العلاقة بين التوصيل الحراري وارتفاع درجات الحرارة للمركب البلوري السائل المحضر ، حيث ان قيم التوصيل الحراري للبلورات السائلة تزداد بارتفاع درجات الحرارة وهذا يتوافق مع القيم المقيسة للمركبات الشبيهة [Torizuka and Tajima , 2005]، كما نلاحظ أن قيم التوصيل الحراري للبلورات السائلة ذات قيم واطئة.**

**يتم حساب $\frac{\Delta Q}{\Delta T}$ من رسم العلاقة بين $\triangle$Q و$\triangle$T والمقابلة لكل درجة حرارية وكما هو واضح من الاشكال من (4) الى (11) حيث نلاحظ ان العلاقة بين $\triangle$Q و$\triangle$T هي علاقة خطية إذ يتزايد الفرق في درجات الحرارة بزيادة قيم كمية الحرارة المجهزة الى السخان.**

**الجدول رقم (2) يبين قيم الحرارة النوعية والانتشار الحراري كدالة لدرجات الحرارة إذ تتذبذب قيم الحرارة النوعية بشكل طفيف وعموماً تزداد قيم الحرارة النوعية بشكل خطي تقريباً مع ارتفاع درجات الحرارة إلى إن تصل إلى الدرجة الحرارية ( 313 K)**

**بعدها تبدأ الحرارة النوعية بالتناقص بصورة مفاجئة، ثم تنخفض قيمها قليلاً حيث إن التذبذب الحاصل في منحني الحرارة النوعية يعود إلى مدى تحسس المزدوجات الحرارية المستخدمة . والشـكل رقم (12) يوضح العلاقة بين الحرارة النوعية ودرجات الحرارة ضمن المدى 328 K -293.**

**أما الشكل رقم (13) فهو لتوضيح العلاقة بين الانتشار الحراري ودرجات الحرارة حيث نلاحظ اختلاف سلوك الانتشار الحراري مع درجات الحرارة ، فمن الشكل يظهر عند زيادة قيمة التوصيل الحراري ($\lambda$) سيرافقه زيادة طفيفة في قيمة الانتشار الحراري ($\alpha$). عموماً فأن النتائج التي تم الحصول عليها تتفق مع التجارب التي اجريت على مواد بلورية سائلة شبيهة ، والذي يمكن ملاحظتها بشكل واضح في المصدر**

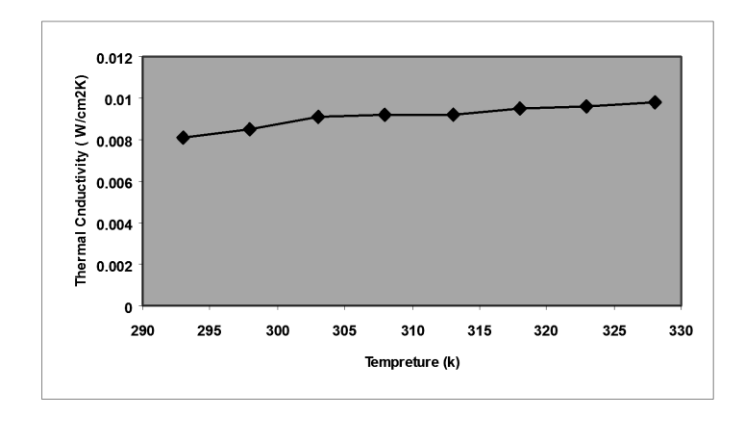
**. [Abdul-AzizO. and Karar A., 2010]**

**جدول رقم (1)**

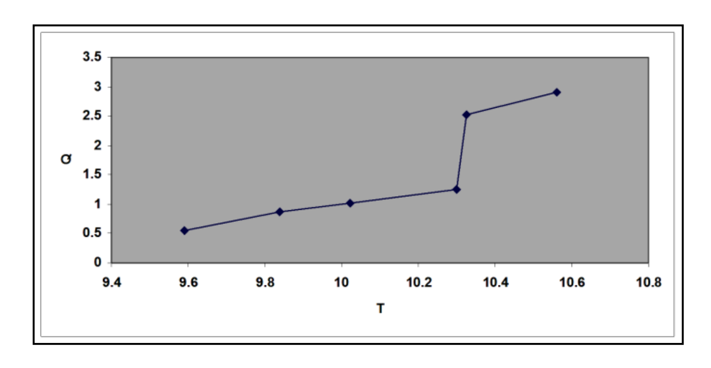
**يتضمن قيم التوصيل الحراري ($\lambda$) المقابلة إلى درجات الحرارة (T).**

| T(K) | VH(V) | VU(V) | VL(V) | TH(K) | TU(K) | TL(K) | TU,L(K) | T(ΔK) | $\lambda$(W/cm K) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 293 | 0.014 | 0.36 | 0.33 | 272.6128 | 281.2871 | 280.5399 | 280.9135 | 8.300687 | 0.008072 |
| 298 | 0.016 | 0.283 | 0.38 | 272.6633 | 279.3674 | 281.7847 | 280.576 | 7.912766 | 0.008467 |
| 303 | 0.013 | 0.29 | 0.32 | 272.5875 | 279.5422 | 280.2906 | 279.9164 | 7.328861 | 0.009142 |
| 308 | 0.025 | 0.313 | 0.32 | 272.8905 | 280.116 | 280.2906 | 280.2033 | 7.31284 | 0.009162 |
| 313 | 0.029 | 0.31 | 0.33 | 272.9914 | 280.0412 | 280.5399 | 280.2905 | 7.299112 | 0.009179 |
| 318 | 0.024 | 0.3 | 0.312 | 272.8652 | 279.7918 | 280.0911 | 279.9414 | 7.076188 | 0.009468 |

| 323 | 0.027 | 0.302 | 0.311 | 272.941 | 279.8417 | 280.0662 | 279.9539 | 7.01295 | 0.009554 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 328 | 0.031 | 0.309 | 0.3 | 273.0419 | 280.0163 | 279.7918 | 279.904 | 6.862113 | 0.009764 |

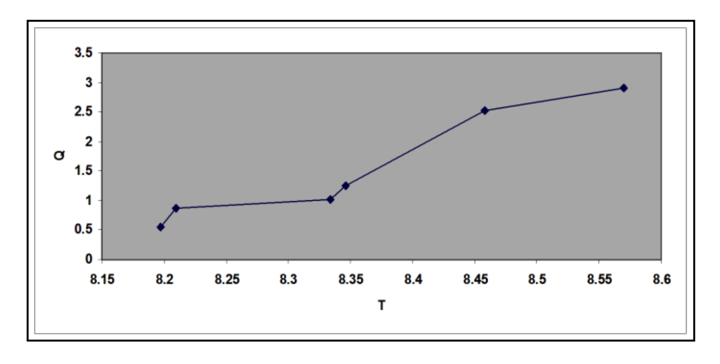



**الشكل (3)يوضح علاقة التوصيل الحراري مع درجات الحرارة للمدى الحراري (293-328 K) .**

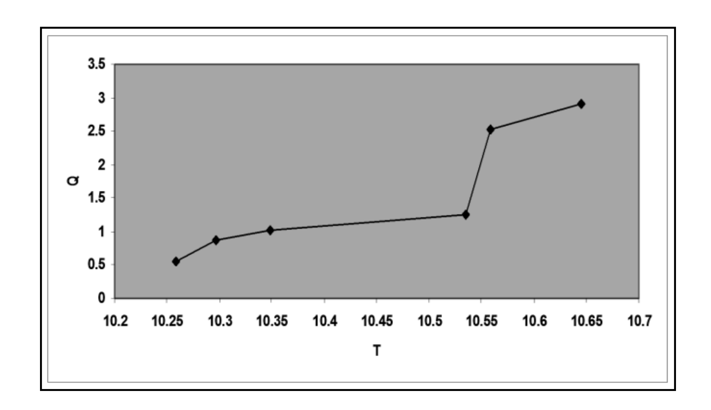



**الشكل(4) يبين علاقة كمية الحرارة بدرجة الحرارة**

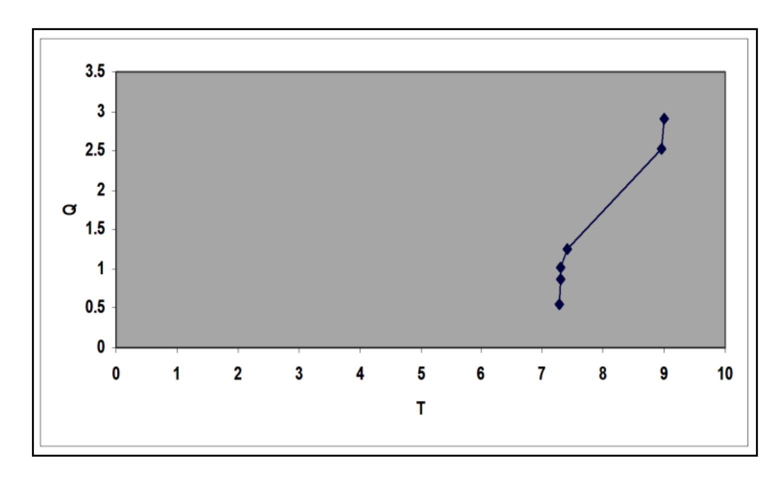
**عند T = 293 K**



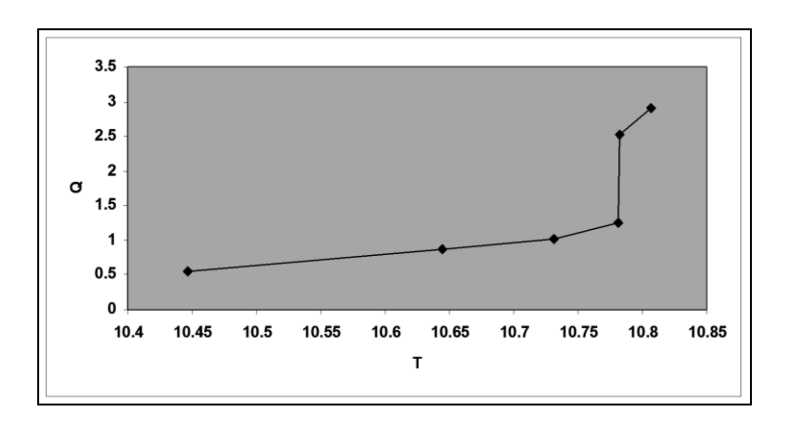

**الشكل(5) يبين علاقة كمية الحرارة بدرجة الحرارة عند T = 298 K**



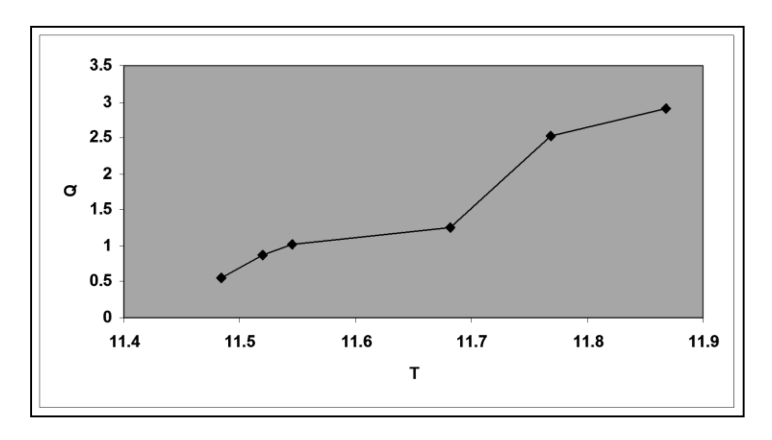

الشكل(6) يبين علاقة كمية الحرارة بدرجة الحرارة عند T = 303 K



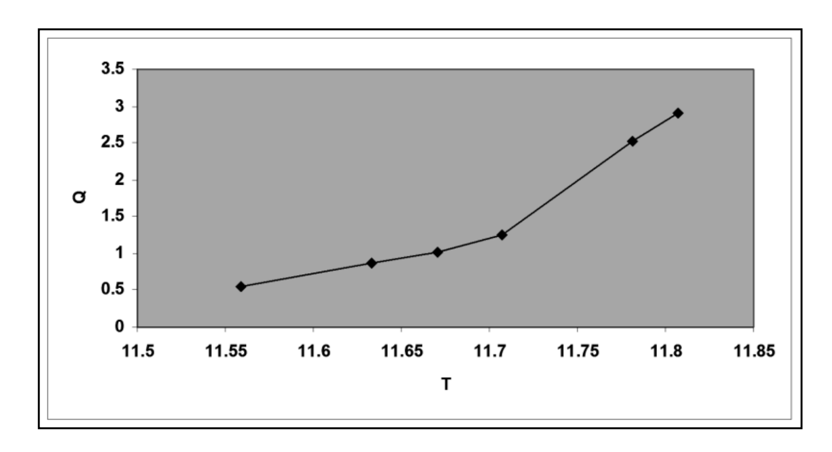

الشكل(7) يبين علاقة كمية الحرارة بدرجة الحرارة عند T = 308 K



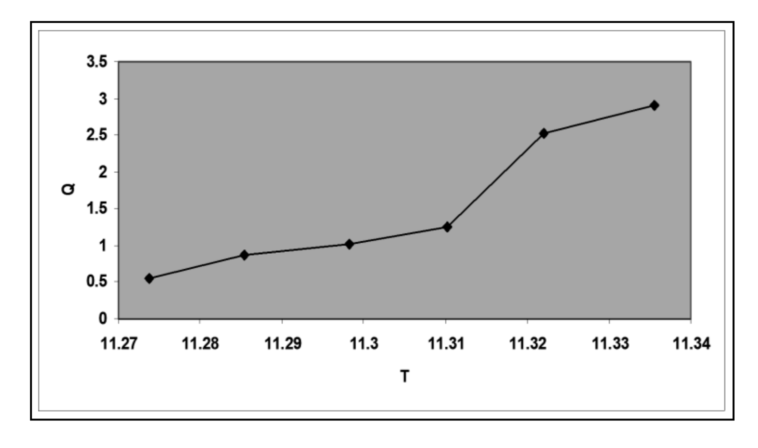

**الشكل(8) يبين علاقة كمية الحرارة بدرجة الحرارة عند T = 313 K**




**الشكل(9) يبين علاقة كمية الحرارة بدرجة الحرارة عند T = 318 K**




الشكل(10) يبين علاقة كمية الحرارة بدرجة الحرارة عند T = 323 K

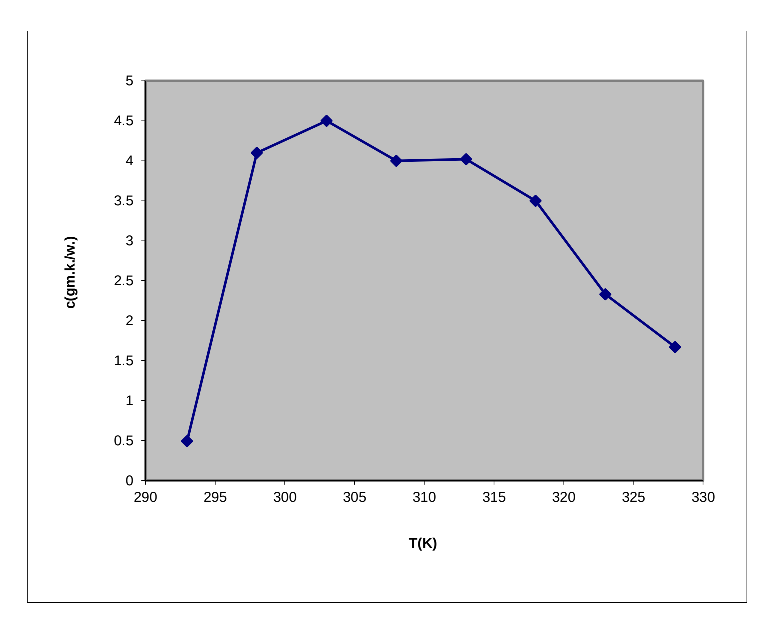



الشكل(11) يبين علاقة كمية الحرارة بدرجة الحرارة عند T = 328 K

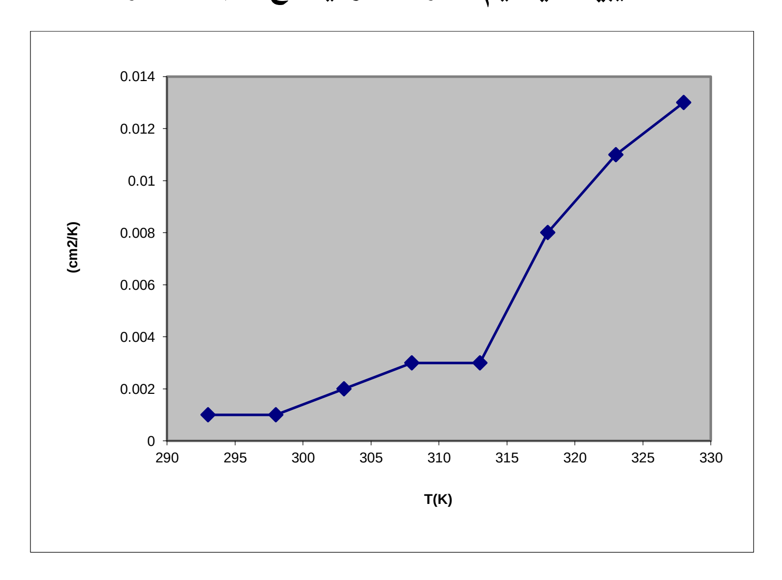
جدول رقم (2) يبين قيم الحرارة النوعية والانتشار الحراري

**كدالة لدرجات الحرارة ضمن المدى ( 293 - 328 K ) .**

| T(K) | C (gm.K.Watt-1) | $\alpha$(cm2/Sec) |
|---|---|---|
| 293 | 0.49 | 0.001 |
| 298 | 4.1 | 0.001 |
| 303 | 4.5 | 0.002 |
| 308 | 4 | 0.003 |
| 313 | 4.02 | 0.003 |
| 318 | 3.5 | 0.008 |
| 323 | 2.33 | 0.011 |
| 328 | 1.67 | 0.013 |




الشكل(12) يبين تغير قيم الحرارة النوعية مع درجات الحرارة .




الشكل(13) يبين تغير قيم الانتشار الحراري مع درجات الحرارة .

# الفصل الرابع
# النسبية الجاليلية

## المبحث الأول نظرة شاملة على النسبية الجاليلية:

سنبدأ بنظرة شاملة على الفيزياء الكلاسيكية . يجب أن تكون لديك قدر من المعلومات عن الميكانيك الكلاسيكى لكى تلاحظ الفرق بينه و بين النسبية. لقد قمت أيضا بنقل بعض الأجزاء من أبحاث متميزة.

المبدأ الأول: الزمان و المكان المطلقين

فى الميكانيكا النيتونية، الزمن مستقل تماما عن المكان و كلاهما يعتبر مسرح للأحداث، تحدث كل الأحداث فيهما و المادة أيضا موجودة فيهما.

الزمن مستقل عن حالة الحركة لجسم ، يمكنك أن تضبط كل الساعات فى الكون و تجعلهم متوافقين ، و سيسيروا بنفس المعدل و يستمروا فى اعطائك قرائات متامثلة بغض النظر عن مكانهم أو حالة حركتهم. و نتيجة لذلك يتفق كل المشاهدين على ترتيب الأحداث التى تحدث فى أى مكان وعلى وقت حدوثها . الأحداث التى تحدث فى نفس الوقت (متزامنة) بالنسبة لمشاهد معين ستصبح متزامنة بالنسبة لكل المشاهدين الأخرين و هذا يسمى "التزامن المطلق."

**المبدأ الثانى: النسبية الجاليلية**

**النسبية الجاليلية تعتبر جزئا من الفيزياء الكلاسيكية . الفيزياء الكلاسيكية نظام ممتاز للتنبؤ بحركة كل شيئ من التفاحات الساقطة إلى الكواكب الدوارة ، لذلك صمدت لمئات السنين. إنها أيضا منطقية جدا ، يمكنك القول ، أنك بمجرد أن تفكر فيها تجدها سليمة و منطقية و قريبة لعقلك. لذلك عندما تقرأ هذا الجزء ، تأكد أننا نتكلم عن العالم الذى تعيش فيه. بهذه الطريقة ستلاحظ الأشياء الجديدة فى الفيزياء الحديثة عندما تفقد هذا الإحساس بالمنطقية فى الكلام.**

**حاول أيضا أن تحل المسائل قبل أن تنظر للإجابات . لن تحتاج ورقة أو قلما ولكنك ستحتاج القليل من التفكير.**

**السؤال #1 : كنت أنا أقود سيارة بسرعة 30 ميلا فى الساعة . كنت أنت واقفا على جانب الطريق ترانى . بعد أن مررت بك ، رميت ورائى حجرة بسرعة 30 ميلا فى الساعة. متى ستلحق بى هذه الحجرة ؟**

الإجابة #1 : أعط نفسك عشر نقاط إذا قلت أنها لن تصلنى أبدا. لا يهم إن كانت تسير بسرعة 30 ميلا طالما أنى أبتعد بسرعة 30 ميلا. كلام منطقى ، صح؟

الأن لنضع معى فى السيارة طفلا عمره عامين. بما أنه ما زال طفلا لا يفقه شيئا، سيقول أنه لا يتحرك . عندما ينظر من الشباك و يرى الأشجار تذهب للوراء سيعتقد أن الأشجار هى التى تتحرك . بالطبع لن يستنتج أن السيارة وهو بداخلها تتحرك عبر الأشجار.

إذن ماذا سيستنتج الطفل بخصوص الحجرة؟ (لنسأل السؤال فيزيائيا : كيف تتصرف الحجرة فى "مناط إسناد" الطفل؟.(الحجرة بالنسبة له معلقة فى الهواء خلف السيارة و هى لا تتحرك .لو أننا سألنا الطفل نفس السؤال (متى ستلحق الحجرة بالسيارة؟) سيجيب نفس الإجابة التى أجبناها أنا وأنت (لن تلحق بها أبدا) و لكن لسبب مختلف تماما. أنا و أنت لدينا حس مشترك يخبرنا أن السيارة هى التى تتحرك بينما الأشجار ثابتة . ولكنه من المفيد أن تلاحظ أن الطفل حصل على نفس الإجابة.

هنا بيت القصيد . الطفل على حق مثلنا تماما . لو أراد أن يقول أن السيارة لا تتحرك بينما الأشجار تفعل ، فهو على حق. لو أردت أن تقول أن الأشجار ثابتة و السيارة تتحرك، فأنت على حق أيضا. لأنه إذا سألت أى سؤال (مثل السؤال السابق) سيحصل كلاكما على نفس الجواب. علميا إذا استطاع أن يحصل على إجابات صحيحة دائما. فإنه لا يوجد أى أساس يمكننا من أن نقول أنه مخطئ حتى ولو تعارضت افتراضاته مع الحس العام.

لنتقدم خطوة أخرى ، يمكنك أن تختار أى شيئ الطريق ، السيارة أو أى شيئ أخر وتقول أنه ثابت و تفترض أن كل شيئ أخر يتحرك وستنجح فى التنبؤ بكل الظواهر.

هذه النتائج تم تلخيصها فى هذه الجملة:

النسبية الجاليلية:(قوانين الميكانيكا ثابتة فى "أى مناط إسناد قصورى) . إذن إنها طريقة أخرى للقول أن الطفل على حق.

هذه الكلمة "قصورى" تعتبر جزرية هنا : إنها تعنى أنك يمكنك أن تعتبر نفسك مناط إسناد فقط إذا كنت لا تتسارع أو تتباطأ أو تغير اتجاهك (حركة منتظمة) .

لو أن قائد السيارة استعمل الفرامل فجأة فإن الطفل سيعرف أنه ليس ثابتا لأنه سيندفع فجأة للأمام

هل أنت معترض على أن الطفل على حق؟ ، تذكر أن الأشجار تدور حول مركز الأرض وأن الأرض تدور حول الشمس أسرع من أسرع الطائرات . فلو كنت تقول أنه يجب على من يركب سيارة أن يدرك أنه يتحرك لكى يتمكن من وصف الظواهر، فعليك أن تقول أنه لا يوجد أحد قادر على استخدام الفيزياء إلا إذا وجدنا نقطة ثابتة فى الفضاء نقف عندها.حسنا فكر فى هذا جيدا ، قد يبدو غريبا و لكنه بعد قليل سيثبت فى عقلك، هذه هى ميزة الفيزياء الكلاسيكية أنها منطقية جدا.

السؤال #2: أنا أسير بسرعة 30 ميلا هذه المرة و أنت رميت ورائى حجرة بسرعة 40 ميلا. إذن هذه المرة ستلحق بى وستصتدم برأسى. لنعتبر أننى خبير بصدمات الأحجار. وأننى يمكننى أن أخبرك بسرعة الحجرة اعتمادا على الألم الذى تسببه لى . ماذا سأقول عن سرعة الحجرة ( إذا كانت الحجرة سرعتها 40 ميلا فى مناط إسنادك فما هى سرعتها فى مناط إسنادى)

الإجابة#2 : سرعتها فى مناط إسنادى 10 ميل . أى إنها تسبب نفس الألم الذى تسببه لى حجرة تسير بسرعة 10 ميل فى الساعة.

كما فى السؤال السابق -كما فى أى سؤال فى النسبية الجاليلية- لدينا الحقائق المقاسة و هى أن الحجرة صدمتنى بسرعة 10 ميل.

**على أى حال الأن يأتى الجزء الذى نختلف عليه ، الشرح لسبب هذه السرعة. من مناط إسنادك الحجرة سريعة جدا و لكنها صدمتنى بخفة لأننى**

**أتحرك مبتعدا عنها. من مناط إسنادى أنا ثابت (أنا دائما ثابت فى مناط إسنادى) ولكن الحجرة تسير إلى بسرعة 10 ميل. بأى شكل نحن نتفق على النتيجة.**

**كل ما قلته حتى الأن أخبار قديمة فى الفيزياء و لكنى خضت فيه لكى أعرف معنى مناط الإسناد القصورى و كيف أن قوانين الفيزياء ثابتة فى كل مناطات الإسناد القصورية . يمكنك أن تلعب الكرة داخل السفينة ولن تشعر باختلاف . يمكنك أن تسقط كرة من منتصف سقف السفينة وستسقط فى منتصف الأرضية سواء كانت السفينة ثابتة أو تتحرك حركة منتظمة.**

**الأن يجب أن تفهم الاثبات القادم جيدا لأننا سنحتاجه بعد ذلك سنثبت أن الحجرة تسير فى مناط اسنادى بسرعة 10 ميلا فى الساعة.**

**لنعتبر أنك رميت الحجرة بعدما مررت بك و لحقت بى بعد ساعة. ما المسافة التى قطعتها الحجرة فى ساعة فى مناط اسنادك؟ الاجابة 40 ميلا: بالتعريف ، هذا معنى جملة "الحجرة سرعتها 40 ميلا فى الساعة."**

**السؤال التالى : ما المسافة التى قطعتها أنا فى مناط اسنادك ؟ 30 ميلا . لأنى أسير بسرعة 30 ميلا فى الساعة.إذن ماذا أرى أنا؟ هذه الحجرة بدأت على بعد 10 أميال منى و فى ساعة واحدة لحقت بى إذن هى ولا شك تسير بسرعة 10 أميال فى الساعة. لأنها فى كل ساعة تقطع 10 أميال تجاهى.**

**لا بد أن تعرف أن قياس هذه السرعة لا يعتمد على أداة القياس المستخدمة .**

**الأدوات لا تهم. السرعة هى نتيجة تغير المسافة مع الزمن و الأدوات تقيس هذا التغير و حسب. لا بد أن تقتنع بكل كلمة قلناها و**

**تدرك معنى هذه القوانين لجمع السرع فى الميكانيك الكلاسيكى. و أهم شيئ هو ادراك النسبية الكلاسيكية هنا و هى أن القوانين ثابتة فى كل المناطات فقط عليك أن تقيس و ستحصل على نفس النتيجة أيا كانت حركتك طالما أنها منتظمة.**

## المبحث الثاني الكهرباء و المغناطيسية (هندريك لورنتز- جيمس ماكسويل)

رأينا فى المبحث السابق تعريف مبدأ النسبية بالمعنى المقيد وهو أن جميع قوانين الميكانيكا واحدة فى جميع مناطات الإسناد القصورية وأن المشاهدين المتحركين بسرعة منتظمة سيحصلوا على نفس النتائج لأى تجربة ميكانيكية وأنه لا يمكن لشخص ما أن يعرف إذا كان يتحرك أو لا عن طريق أى تجربة ميكانيكية. ولكن بالرغم من الإشارة الواضحة فى ميكانيك نيوتن إلى الحركة النسبية إلا أن تصور الحركة المطلقة لم يختفى وقد عاب بعض الناس على نيوتن هذا التناقض ولكن نيوتن ظل مقتنعا بالحركة المطلقة لأن هذا التصور المطلق بالتأكيد مريح و لأنه ضرورى فى الحركة غير المنتظمة أن يكون هناك معنى لكلمة حركة.

نبذة سريعة عن تاريخ الضوء

كان أرسطو يقول أن الضوء ينتشر فى المكان بلا زمان أى أن سرعته لانهائية و هذا ما يسمى بالسرعة الأنية.

**جاء بن الهيثم بعد ذلك ليبطل هذا التصور و ليجرى بعض التجارب التى أثبتت أن الضوء له سرعة يمكن قياسها و ليست سرعة أنية.**

**مكث العلماء بعد ذلك يحاولون اثبات كلام بن الهيثم مرة ثانية حتى أثبتوه و بدأوا فى اجراء التجارب لقياس سرعته و تعددت محاولات القياس و فى كل مرة كانوا يقتربون أكثر من السرعة الحقيقية.**

**أخيرا تم قياس سرعة الضوء و كانت حوالى 300000 كيلومتر فى الثانية و يرمز لها بالرمز(ج) أوC**

**ماكسويل و الضوء**

**فى القرن التاسع عشر ظهر الفيزيائى اللامع جيمس كلارك ماكسويل و كان له اسهامات قوية جدا فى الكهرباء و المغناطيسية و اكتشاف قوانين هذه القوى . كما أنه أول من وحد الكهرباء و المغناطيسية فى قوة واحدة هى القوة الكهرومغناطيسية و وضع 4 معادلات رياضية سميت بمعادلات ماكسويل تصف كل ما يتعلق بالكهرباء و المغناطيسية.**

كان ماكسويل أول من اكتشف طبيعة الضوء وقد كان هذا الاكتشاف مذهلا حقا فقد أدى إلى نتائج مدهشة وغريبة جدا، لقد اكتشف ماكسويل أن الضوء عبارة عن مجال كهربائى ومجال مغناطيسى يتعامد اتجاههما على بعض وعلى اتجاه الحركة . ويغير كلا المجالين اتجاهه باستمرار.

كان لهذا الاكتشاف أثر كبير جدا ، فحسب هذا الكلام كان سير الضوء لا بد أن يعتمد على السماحية الكهربية والمغناطيسية للوسط الذى يسير فيه وبما ان الوسط أيا كان لهسماحية ثابتة فلا بد للضوء فيه أن يسير بسرعة ثابتة حسب معادلات ماكسويل و هذه السرعة هى . C نتيجة متعارضة تماما مع قانون جمع السرعات فى النسية الجاليلية . و قد سمى هذا القانون بقانون ثبات سرعة الضوء و أن هذا القانون ضرورى لتفسير نتائج التجارب فى الديناميكا الكهربية.

بالطبع كان لابد من تجاوز هذا التعارض الواضح خاصة أن قانون جمع السرعات منطقى جدا و لا غبار عليه.

فى الواقع لم يكن هذا الأمر هو المشكلة الوحيدة أمام النسبية الجاليلية التى كانت تسعى لاثبات أن قوانين الفيزياء ثابتة فى كل المناطات وجحت فى هذا جزئيا باثبات أن قوانين الميكانيكا ثابتة فى كل المناطات.

فالكهرومغناطيسية كانت لها نتائج لا تتفق مع النسبية الجاليلية كالنتيجة التى ذكرناها توا عن الضوء فهذه النتيجة تقول بوضوح أنه لو كان كل المشاهدين سيطبقون نفس القوانين الكهرومغناطيسية فلا بد أن يحصلوا على نفس السرعة للضوء و هذا يتعارض مع قانون جمع السرعات المنطقى جدا مما يجعلك تعتقد أنه أما أن النسبية الجاليلية مخطئة وأما أن القوانين الكهرومغناطيسية التى تعطى سرعة ثابتة للضوء مخطئة.

فيما يلى نضع مثالا أخر على تجربة كهرومغناطيسية لا تعطى نفس النتائج فى كل المناطات.

من المعروف أن الشحنات الكهربية المتامثلة تتنافر.

و من المعروف أيضا أن التيار الكهربائى يخلق حوله مجالا مغناطيسيا و أنه إذا كان هناك شحنتان كهربيتان لهما نفس إشارة الشحنة ويسيران فى نفس الاتجاه سيكون بينهما قوة جذب مغناطيسية.

و الأن دعونا نجرى هذه التجربة النظرية و هذا المصطلح سيتكرر كثيرا معنا و هى تجربة لا يمكن اجراءها عمليا.

تخيلو أننى أمسكت بشحنتين متمثالتين و بدأت بالسير فى اتجاه معين ما هى القوة المتبادلة بين هذين الشحنتين؟

بالنسبة لك:

يوجد قوة تنافر كهربية و ليكن قدرها 5 نيوتن

و لكن يوجد أيضا قوة جذب مغناطيسية و ليكن قدرها 3 نيوتن

القوة = 5-3 = 2 نيوتن تنافرية

ولكن بالنسبة لى الشحنتان لا يتحركا فبذلك لا يوجد قوة جذب مغناطيسية وستكون القوة 5 نيوتن تنافرية!!!

ماذا لاحظتم؟؟ يمكننا اجراء تجارب كهربية ونحدد إذا كنا نتحرك أو لا، أليس كذلك ؟

كان هذا متعارضا تماما مع نسبية جاليليو . وقد دفع هذا العلماء للتفكير من يقول النتائج الصحيحة و من له الأفضلية.

الأثير، ما هو و لماذا؟؟؟

قبل أن نخوض أكثر لا بد أن نضرب مثالا صغيرا هنا .

جميعنا يعرف أن الصوت موجة وأن مروره يعتمد على خواص الوسط (و ليكن الهواء) الذى يسير فيه ومع ذلك فنحن لم نفترض أن سرعته ثابتة لكل المشاهدين ولم نحصل على تعارض مع قانون جمع السرعات الكلاسيكى (أحد أركان الميكانيكا الكلاسيكية و النسبية الجاليلية). لماذل إذن لم نحصل على التعارض؟

لو أن هناك شخص ثابت بالنسبة للهواء فهو سيرى سرعة معينة للصوت. لو أن هناك شخصا متحركا بالنسبة للهواء فسيحصل على سرعة مختلفة وهذا لن يشكل مشكلة لأنه حتى لو اعتبر نفسه ثابتا فعليه أن يعتبر أن الهواء متحرك وبما أن الهواء المتحرك لن تتصرف جزيئاته كالهواء الساكن وسيكون للصوت سرعة مختلفة و هكذا فاننا نجد اننا نحافظ على قانون جمع السرعات (السرعة تختلف باختلاف المشاهد) والنسبية الجاليلية (يمكنه اعتبار نفسه ثابتا) دون الاساءة لقوانين الحركة الموجية (سرعة الصوت تعتمد على خواص الوسط فقط) . هكذا فإن انتقال الصوت عبر الهواء حل المشكلة.

ماذا لو كان الضوء كالصوت تماما له وسط يسير فيه وهذا الوسط كالهواء بالنسبة للصوت. عندها سيمكننا أن نتلافى أى تعارض وهنا ظهرت أهمية الأثير الذى كان مفترضا وجوده من قبل ذلك لا أعرف منذ متى تحديدا ولكن ما أعرفه هو أن الأثير كان أحد أقوى الفروض الفيزيائية التى لا يمكن معارضتها آنذاك وهذا الأثير هو الوسط الذى يسير فيه الضوء وهنا كان

لا بد من الاعتراف ( بسبب بعض التجارب كالتجربة السابقة للشحنات) بأن النسبية الجاليلية لا تسرى على الكهرومغناطيسية وأن قوانين الكهرومغناطيسية تسرى فقط على المشاهد الثابت بالنسبة للأثير وعلى أى مشاهد أخر يتحرك بالنسبة للأثير أن يراعى تأثيرات رياح الأثير عند تطبيق قوانين الفيزياء) أى عليه الاعتراف بأنه يتحرك) ومن هنا كان الأثير له ثلاث فوائد:

الموجات تحتاج لوسط مثل الصوت وموجات المياه وبذلك سيحتاج الضوء لوسط و هذا الوسط هو الأثير.

سرعة الضوء ثابتة بالنسبة للأثير وقدرها (ج) ولكن إذا كنت تتحرك بالنسبة للأثير ستقيس سرعة مختلفة ولكن قياسك لا يسرى لأنك تتحرك و

قوانين الكهرومغناطيسية (كقانون ثبات سرعة الضوء) تعمل فى المناط الثابت بالنسبة للأثير فقط

الذى يقول النتائج الصحيحة هو المشاهد الساكن بالنسبة للأثير وله الأفضلية وعلى المتحرك أن يعرف أنه متحرك و يحسب على هذا الأساس لكى يصل للنتائج الصحيحة.

بهذه الطريقة تم الحفاظ على قانون جمع السرع إلى حد ما و لكن ظل هذا متناقدا مع نسبية جاليليو. رأى أينشتين أن معادلات ماكسويل جيدة جدا و أنه يجب أن تصلح لكل مناطات الإسناد كما أنه لم يحب فكرة الأثير تلك أبدا . فمبدأ الحركة النسبية كان يعجبه جدا و لكن للأسف هذا المبدأ (فى ظل قانون جمع السرع الكلاسيكى (يتعارض مع قانون ثبات سرعة الضوء الذى هو ضرورى لتفسير العديد من الظواهر فى الديناميكا الكهربية

**من هو لورنتز؟؟**

**لورنتز هو أحد أكبر العلماء الفيزيائيين و قد طور الديناميكا الكهربية كثيرا و قد كان له دورا كبيرا سيظهر فيما بعد و لن نقول الكثير عنه ها هنا و لكن يكفى أن نعرف أن له دور كبير فى الكهرباء و المغناطيسية مع ماكسويل.**

## المبحث الثالث قبل ميكانيك الكم

**ميكانيك الكم هى أحد ثورات القرن العشرين العلمية و هى أحد أقرب العلوم التى توصلت لوصف دقيق للطبيعة . و لكنها غريبة تماما . إنها تتعارض مع حسنا العام كما أنك يمكن أن تعتبرها نوع من الخيال العلمى الذى لا يمكن لعلماء جادين الأخذ به. سأبث إليكم الأن خبر جيد و لكننى سوف أكتب تحذيرا أيضا.**

**الخبر الجيد هو أنك لا يجب أن تكون فيزيائيا بارعا لكى تفهم هذه الورقة . و لكن يجب أن احذر أيضا من أن الموضوع صعب الفهم فلا تتوقع فهمه من أول مرة بل انه عليك قراءته مرات كما يجب أن تتوقف بعد كل جزء و تطمئن إلى تمام فهمه . سوف نغطى هنا أسابيع عديدة من الفيزياء الجامعية**

لأن ما يجعل الجامعيين يأخذون وقتا طويلا هو تعلم القيام بالعمليات الحسابية المعقدة الخاصة بالمواضيع أما نحن فعلى العكس لن نقوم بعمل أى رياضيات .أرجو أن تستمتعوا فى هذا المبحث .

نظرة عامة - إلى أين نحن ذاهبون ؟!

قبل البدء سنقوم برسم الطريق الذى سنسلكه و سوف نعرض نظرة شاملة عن الأشياء التى تتناولها

سنتناول فيزياء القرن التاسع عشر أى الفيزياء الكلاسيكية . إياك أن تترك هذا الجزء لتذهب مباشرة إلى الجزء الشيق لأنه بلا هذا الجزء لن يكون الجزء الشيق شيقا أبدا.

ما هو الضوء؟ و ماذا يحدث عندما تتقابل موجاته ؟ هذه النقاط تشرح لماذا نعتبر الضوء موجة كما تشرح معنى التداخل الموجى.

تجربة يونج للتداخل تعتبر إثباتا ممتازا لتنبؤات الفيزياء الكلاسيكية

تجربة يونج باستخدام الكرات الصغيرة تظهر بوضوح الفرق بين تصرف الجسيمات و الأمواج فى التجربة.

بوصولك لهذه النقطة ستكون ملما بجزء لا بأس به من الفيزياء الكلاسيكية .

ستعرف ما هى الموجة و ما هو الجسيم أو الجزئ .

وستعرف ما الفرق بينهما (خاصة بالنسبة للتداخل) و سترى أن تجربة يونج تثبت كل هذه النظريات . لن ترى الأمر سهلا و لكنه يجب أن يكون منطقيا تماما بالنسبة لك.

ما هو الضوء

أحد أهم الأسئلة فى العلوم فى الأونة الماضية كانت "ما هو الضوء؟" . بنهاية القرن الـ19 كان هذا السؤال قد أجيب بإجابة جيدة . الرياضيات

"معادلات ماكسويل" تأخذ وقتا لتتعلمها ولكن الفكرة نفسها واضحة جدا.

فى نقطة ما فى المكان يوجد ما يسمى مجال كهربائى . ربما كانوا لا يعرفون تكوينه بالضبط و لكن يمكننا تحديد اتجاهه . يمكننا أن نقول أن فى هذه النقطة مجال كهربائى برؤية تأثيره على جسيم مشحون ونقول أن اتجاه هذا المجال هو الاتجاه الذى يسلكه جسيم موجب تم وضعه فى هذا المجال. هذا المجال يشير لأعلى تعنى أن الجسيم الموجب سينطلق لأعلى  لو تم وضعه هنا.

يمكننا قضاء ساعات فى شرح المجال الكهربى و الجسيمات المشحونة و لكن هذا لن يكون له علاقة بموضوعنا . الشيئ المهم هنا هو أنه يمكنك تحت ظروف معينة الحصول على مجال كهربى يشير لأعلى و يمين قليلا لا تجده تماما ثم إلى اليمين قليلا تجده يشير لأسفل . أى يتذبذب كما فى الرسم

الخط العرضى هو احداثى المكان وارتفاع المنحنى يدل على اتجاه المجال الكهربى وشدته. لا يوجد شيئ حقيقى يتحرك لأعلى وأسفل ولكن هذا رسم بيانى لشدة المجال واتجاهه مع المكان. فى الحقيقة هذه الموجة ليست ساكنة و لكنها تتحرك . تخيل أنها تتحرك يمينا وأنك واقف فى طريقها فلو أنك قمت بقياس اتجاه وشدة المجال ستجده يقوى ويضعف ويغير اتجاهه بمرور الوقت.

أحد أهم انجازات الفيزياء الكلاسيكية هو تصوير الضوء كموجة من هذا النوع و شرح كل خصائصه اعتمادا على هذه الصورة له . (فى الواقع يوجد فى الضوء مجال مغناطيسى [لهذا يسمى موجة كهرومغناطيسية] ولكن ليس له
علاقة بموضوعنا الأن ) . قبل المضى أكثر عليك أن تعلم أن المسافة بين قمتين متتاليتين تسمى "الطول الموجى" و موجات الضوء المختلفة لها أطوال موجية مختلفة.

## عندما تلتقى موجات الضوء

ماذا يحدث عندما تتقابل موجتان ضوئيتان ؟؟ الاجابة هى أن المجالان الكهربينا يتم جمعهما . أى لو أنه فى نقطة ما يشير أحدهما لأعلى بـ3 والأخر لأعلى بـ5.فالمجموع هو لأعلى بـ8 والعكس فلو أن أحدهما يشير لأعلى بـ3 و الأخر لأسفل بـ3 فانك لن تجد مجالا كهربيا فى هذه النقطة.

لو كنت رجلا عمليا ستقوم الأن و تأتى بمصابحين و توجههما لنفس الرقعة على الحائط لترى كيفية جمع الضوء . و لكن للأسف لن ترى شيئا لأن ضوء المصباح هو مجموعة كبيرة عشوائية من موجات مختلفة . و لكن تخيل أن لديك مصباحين يقومان بإطلاق موجتين (موجة من كل منهما) لهما نفس الطول الموجى و يقومان باطلاقهما فى نفس الوقت.

اعتمادا على بعد كل منهما عن الحائط يمكنك رؤية ضوء أو ظلام على حسب الفرق بين شدة المجال فى كلا الموجتين عند هذه النقطة.

فى الصورة التالية تجد موجتين متوازيتان تماما و المجال الكهربى فيهما متساوى عند كل نقطة. عندما يكون موجب فى أحدهما يكون موجب فى الأخرى فيصبح المجموع موجب عالى . و هكذا فالناتج يكون موجة أطول
من الموجتين. ضوء مع ضوء يعطى ضوء أقوى.
لو كانوا غير متوازيين بالمعنى السابق (بالانجليزى اسمهم out of phase )
فعندما يشير أحدهما لأعلى سيشير الأخر لأسفل فيلغيا بعضهما و ترى ظلام وهذين النوعان يسميان تداخل بناء و تداخل هدام.
نعود لمصباحينا المتميزين لو أنهما يبعدا عن الحائط بنفس المسافة فسوف تكون الموجات متساوية و ترى ضوء قوى . حرك أحدهما للخلف بمسافة تساوى نصف الطول الموجى لترى ظلام حيث أن الموجتان سيصبحا متعاكستان.
أرجو أن يبدو هذا واضحا . للأسف فإن هذه التجربة عمليا مستحيلة ولكن توماس يونج عالم مشهور تمكن من التحايل و وضع فكرة لتنفيذ التجربة اعتمادا على مصدر ضوئى واحد . و لكنه لا بد أن يصدر موجة من نوع واحد (لا تجربها بالمنزل إنها تصلح فى المعمل فقط).

تجربة الفتحات (تجربة يونج)

تسمى هذه التجربة بالفتحات و ستعرف لماذا . سنضع مصدر للضوء أمام حائط أسود و بينهما قطعة من الكرتون بحيث لا يعبر الضوء . الأن تقوم بعمل فتحة رأسية فى الكرتون بحيث يعبر بعض الضوء .

السؤال : ماذا ترى على الحائط؟؟

لو أن الضوء يسير فى خطوط مستقيمة من مصدر الضوء نحو الحائط فسترى خط رأسى من الضوء . و لكن فى الواقع فان الضوء يشع للخارج (ظاهرة تشتت الضوء). وبذلك فما ستراه هو عمود من الضوء خلف الفتحة و

يضعف الضوء نحو الأجناب هذه النقطة ليست غريبة وهى ليست ذات أهمية شديدة فهى فقط تثبت أن الضوء يشع للخارج . لكن ماذا لو أنك أضفت فتحة أخرى بجانب الأولى ؟؟

ربما تتوقع رؤية نفس الشكل السابق موجود مرتين ، و لكن ما تراه هو منظر جديد . ترى عواميد من الضوء بينها عواميد من الظلمة.

هذا يبدو غريبا حقا. بعض الأماكن التى كانت مضيئة فى التجربة الأولى أصبحت مظلمة عندما فتحت فتحة أخرى . قم بتغطية هذه الفتحة و سترى هذه المناطق تضئ مرة أخرى . هذه النتيجة منطقية جدا فى ظل النظرية الموجية للضوء .

تذكر أنه عندما تمر موجة ضوئية من احدى الفتحات تقوم بالانتشار فى كل الاتجاهات (كل فتحة تعمل كمصدر ضوئى) و هكذا فإن كل نقطة على الحائط تستقبل شعاعين ، واحدا من كل فتحة كما فى الصورة نرى هنا أن الشعاعين بدئا متساويين و لكنهما سارا مسافات مختلفة و هذا يعيدنا للشرح السابق عندما تلتقى أشعة الضوء . فلو كلا الشعاعين عند الالتقاء كانوا يشيرون معا لأعلى أو لأسفل فستكون هذه النقطة مضيئة و العكس صحيح .

الفرق بين مسار الشعاعين يختلف عند كل نقطة و بذلك فستختلف الحالة عند كل نقطة و سيختلف نوع التداخل و هذا يفسر المنظر الذى تم رؤيته.

تجربة الفتحات باستخدام الكرات الصغيرة:

منذ البداية حتى الأن قمنا بتغطية جزء لا بأس منه فلا مانع فى أخذ دقيقة أو اثنين لمراجعته و التأكد من أن النتيجة فعلا منطقية.

سنعيد التجربة باستخدام كرات صغيرة مدهونة بالأبيض مثلا.

سنعيد التجربة الأولى و لكن بدلا من مصدر الضوء سنستخدم مكنة (أو مدفع) يطلق كرات صغيرة مدهونة بالأبيض لتترك صبغة على الحائط الأسود لنعرف أين ذهبت . هذا المدفع يطلق كرة تلو الأخرى . قم بعمل فتحة واحدة و انظر أبن تذهب الكرات.

المدفع يطلق كل كرة بنفس الطريقة و فى نفس مسار الكرة السابقة أى أن الكرات لا تنطلق مثل الضوء فى كل الاتجاهات وبذلك فستجد أن كل الكرات ترتطم بنفس النقطة على الحائط

لنجعل الأمر مسليا أكثر. قف خلف المدفع وأثناء انطلاق الكرات قم بتحريك المدفع لأعلى و أسفل و يمينا و يسارا و كل الاتجاهات بسرعة (أى قم بهزه). الأن ماذا ستجد ؟؟

الكثير من الكرات لن تعبر الفتحة و لكن تلك التى ستعبر سوف ترتطم بالحائط تاركة أثرها و لكن ليس لازما أن تصل للحائط خلف الفتحة مباشرة فتذكر أن الكرات تنتطلق فى كل الاتجاهات نتيجة تحريكك المدفع .

بعد أن تطلق عددا كبيرا من الكرات توقف و انظر للحائط . سترى نتيجة مشابهة لنتيجة الضوء تماما . عمود من اللون الأبيض يقل كثافة نحو الأجناب

قم بعمل فتحة أخرى واستمر باطلاق الكرات بجميع الاتجاهات . ماذا ستجد الأن؟؟ عواميد متبادلة ؟؟ لا ،ما ستراه هو أثر الكرات المنطلقة من الفتحة الأولى بجانب أثر تلك المنطلقة من الفتحة الثانية . الكرات تتطلق واحدة تلو الأخرى و بذلك فلن تصطدم كرتان أو ما شابه . ستجد الشكل الذى رأيته عند عمل فتحة واحدة مكرر مرتين .

بعض الفروق هى:

الجسيمات "كمية" أو" متفرقة" هذا يعنى أنها وحدات متفرقة : كرة ، كرتان، 3 كرات ،.... إلخ. الموجات لا تأتى فى صورة أشياء متفرقة بل هى تغير أو اضطراب عام موجود فى مساحة أو منطقة

شيئ أخر عن الكمية . يوجد ما يسمى "بأصغر وحدة" . لو أن لديك حفنة من الكرات وقمت بقسمها سيصبح لديك حفنتان أصغر من الكرات .

ولكن لو انك استمريت فى التقسيم فستصل إلى كرات متفرقة لا يمكنك قسمها لأنها بعد قسمها لن تكون كرة .

هذا يعنى أن الكرة هى أصغر وحدة ممكنة للكرات . على الناحية الأخرى يمكنك الاستمرار فى تقطيع ارتفاع الموجة و لكنها ستظل موجة.

الموجات يمكنها أن تتداخل بنوعين اما بناء أو هدام . أما الجسيمات فنوع واحد هو البناء.5 كرات مع3 كرات يعطوا 8 كرات لا يمكن أن يعطوا 2.

بسبب الاختلاف فى طريقة جمع الجسيمات و الأمواج فإنهما يعطيان نتائج مختلفة فى تجربة الفتحتين ليونج . مع الموجات ترى نقاط مظلمة حيث تلغى الموجات بعضها . مع الجسيمات لا يوج الغاء . أنت ترى عمودين كبيرين من الدهان.عند هذه النقطة تكون قد عرفت كل ما تحتاج عن الفيزياء الكلاسيكية . اذا لم تفهم نتيجة تجربة يونج قم بقراءة " عندما تتاقبل موجات الضوء" و افهم كيف تتداخل الموجات ثم اقرأ التجربة مرة أخرى . تأكد من أن كل النتائج منطقية حتى لو تتطلب ذلك القراءة عدة مرات.

## المبحث الرابع انهيار الفيزياء الكلاسيكية

### تفكير ميكلسون لإيجاد سرعة الأثير

بعدما قام ميكلسون بقياس سرعة الضوء أراد ان يقوم بعمل إنجاز أخر و هو قياس سرعة رياح الأثير بالنسبة للأرض و كان يتوقع أن هذه السرعة لا بد و أن تكون أقل بكثير من سرعة الضوء و إلا لكنا لاحظنا تأثيرها فى حياتنا اليومية.

اراد ميكلسون ان يستخدم نفس الفكرة التى يمكنك عملها لقياس سرعة الرياح عن طريق سرعة الصوت فكما قلنا ان سرعة الضوء ستكون ثابتة بالنسبة لرياح الأثير فإذاقمنا بإرسال شعاع ضوءى إلى مرأة ثم انعكس الينا سيكون قد ذهب فى رحلة الذهاب فى نفس اتجاه الرياح مثلا و بذلك سيعود فى عكس اتجاه الرياح إذن يمكننا ببساطة أن نقيس الفرق بين سرعته فى

الرحلتين و يكون هذا الفارق هو ضعف سرعة رياح الأثير وسيكون بإمكاننا تدوير الجهاز المستخدم فى التجربة حتى نجعل شعاع الضوء موازى لاتجاه الرياح.

و لكن للأسف لا يوجد جهاز واحد قادر على قياس سرعة رحلة الضوء فى اتجاه واحد و كانت جميع القياسات تعتمد على قياس سرعة الضوء فى رحلة من اتجاهين (أى أن يطلقوا شعاع من الضوء إلى مرأة ثم يعود و يقوموا بقسمة المسافة الكلية على الزمن الكلى) و إذا استخدم هذا التكنيك فإن تأثير الرحلتين على سرعة الضوء سيلغيان بعضهما و لن نصل إلى سرعة الأثير.

هنا خطرت فى بال مكلسون فكرة مذهلة يمكنه بها قياس سرعة الأثير و قد كانت فكرتها كما يلى:

لو كان لدينا نهرا عرضه س (و ليكن 100 متر) و لدينا سباحان يعومان بنفس السرعة فى المياه الساكنة و لتكن 5 متر فى الثانية . لو كان النهر يسير بسرعة ثابتة بالنسبة للضفة و لتكن ص ( و لتكن 3 متر فى الثانية) . سنقيم سباقا بالطريقة التالية ، السباح الأول يعوم بعرض النهر فى خط عمودى على الضفة إلى الضفة المقابلة و يعود . أما الأخر فسيعوم بطول النهر مسافة 100 متر و يعود.

السباح الثانى سيعوم مع عكس التيار فى الذهاب و بذلك تكون سرعته بالنسبة للضفة 2 متر فى الثانية و تستغرق رحلته للذهاب 50 ثانية أما

فى العودة فستكون سرعته 8 متر فى الثانية و ستستغرق رحلته 12.5 ثانية و بذلك سيكون زمن رحلته كلها 62.5 ثانية.

بالنسبة لحساب سرعة السباح الأول بالنسبة للضفة فستكون ناتجة من سرعتان فعليه أن يعوم بسرعته فى اتجاه زاوية معينة

بحيث أنه لو لا يوجد تيار سيبتعد عن الخط ب 3 متر كل ثانية أما فى وجود التيار فسيلغى التيار هذا التأثير لأنه سيعيد السباح مرة أخرى (السباحين يفعلوا هذا ذاتيا دون شعور) .

ستكون سرعة السباح إذا بالنسبة للضفة عن طريق قانون فيثاغورث 4 متر فى الثانية و بذلك سيقطع ال200 متر فى 50 ثانية واضح أنه سيصل قبل الثانى ب12.5 ثانية .

إذا كنا لا نعلم سرعة النهر و لكن لدينا كل المعطيات الأخرى سنتمكن من حساب سرعة النهر ببساطة.

تجربة ميكلسون -مورلى:

فكر ميكلسون فى عمل نفس الشيئ فالأثير هو النهر والضوء هو السباح. سرعة الضوء بالنسبة للأثير C وسرعة رياح الأثير النسبة لنا V وقد كان معتقدا أن سرعة رياح الأثير ستكون قريبة من سرعة دوران الأرض حول الشمس وعلى أية حال فإن لم يكن الأثير ثابتا بالنسبة للشمس ستتغير سرعة الأثير بالنسبة للأرض على مدار اليوم والسنة ولنضع فى الحسبان أيضا أننا لا نعرف اتجاه الرياح و بذلك فلا بد من أن يكون جهاز التجربة قادر على الالتفاف حول المحور 360 درجة بهذا نضمن أن احد الشعاعين سيكون موازى للرياح و الأخر عموديا عليها مرتين على الأقل و فى هذا الوقت سيصل الشعاع العمودى أولا

و لكن بقيت مشكلة أنه فى حال كانت رياح الأثيرسرعتها قليلة فعلا كما توقعوا سيصبح الفارق بين الشعاعين قليلا حيث لا يمكن لأى جهاز رؤيته و لكن تم التغلب على هذه المشكلة فإذا كنا لا نستطيع رؤية السباحين فلنقل لهم "إذا لم تصلا فى نفس الوقت فليصيح السباح العمودى و لتكن قوة الصيحة متناسبة مع فارق الوقت" هذا هو بالضبط ما يفعله الضوء دون أن نخبره و سنرى كيف هذا فى تصميم الجهاز .تم تصميم الجهاز كالتالى:

مصدر يطلق شعاع ضوئى يسقط على مرأة نصف عاكسة بزاوية 45 درجة وبذلك سيمر نصف الشعاع بلا تغيير إلى الجانب الأخر بينما ينعكس النصف الأخر بزاوية 45 درجة ليصبح عموديا على الشعاع الأخر

تم وضع مرأة فى نهاية طريق كل من الشعاعين بحيث تكون المسافة بين مرأة كل شعاع و بين المرأة النصف عاكسة متساوية

بذلك سيرتد الشعاعين ليلتقيا مرة أخرى عند المرأة النصف عاكسة . نصف الشعاع الموازى سينعكس إلى أسفل كما سيمر نصف الشعاع العمودى إلى أسفل

هل لاحظتم ماذا حدث عند المرأة النصف عاكسة؟؟ نعم، لقد حدث تداخل بين الشعاعين وبم أنهما لم يأتيا فى نفس الوقت فسيحدث التداخل كما شرحنا وإذا وضعنا حائطا مثلا أمام الشعاعين فسترتسم الأهداب الضوئية عليه وسيتناسب حجم الأهداب الضوئية مع الفارق

**الزمنى بين الشعاعين. فكرة عبقرية ، أليس كذلك ؟ . هكذا تم الإعداد لكل شيء. بالطبع أنا لم اكتب الحسابات هنا و لكن يمكن استنتاجها بسهولة كما فعلنا فى مسألة النهر. يمكنك الذهاب إلى هذا الرابط ورؤية التجربة كفلاش سيمكنك تغيير سرعة الأثير وملاحظة التأثير على الشعاعين تحت كل التوقعات كانت ستكون الأهداب واضحة جدا. تم اجراء التجربة عام 1887 م و لكن ماذا كان حجم الأهداب الضوئية؟ لقد كانت النتيجة مفاجأة و صدمة عنيفة لكل علماء الفيزياء فالنتيجة كانت: لا أهداب ضوئية !! الشعاعين وصلا معا تماما !!ماذا تعنى هذه النتيجة ؟؟**

**محاولات تفسير النتيجة**

**كانت هذه التجربة أعظم تجربة فاشلة فى التاريخ فلم تلقى أى تجربة قبل ذلك كل هذه المحاولات لتفسيرها لكى تحافظ على المبادئ الكلاسيكية .**

تعددت المحاولات و سنذكر هنا محاولتين فقط:

الأولى : قام العلماء بافتراض أن الأثير المحيط بالأرض ثابت بالنسبة لها أو بمعنى أصح ملتصق بها و لكن يمكن فورا تبين مدى سذاجة هذا الفرض ولقد سقط فورا لأنه لو كان المر كذلك فعلى الضوء أن ينكسر عند العبور من الأثير الخارجى إلى الأثير الأرضى وهذا سيؤدى إلى أن ترى مواقع مختلفة للكواكب والشمس النجوم فى الأوقاتالمختلفة ولكن هذا لم يكن الحال طبعا

الثانية ( فرض فيتزرجيرالد و لورنتز للانكماش) : بالطبع كان لورنتز من أول المحاولين لتفسير هذه النتائج لكى ينقذ نظريته فتم وضع هذا الافتراض "الأشياء تنكمش فى اتجاه حركتها الموازى للأثير وكمية الإنكماش تعتمد على سرعة الأشياء" أى أنك لو وضعت طول مسطرة فى اتجاه موازى لحركتها فى الأثير فسينكمش طولها و إذا وضعتها بالعرض يبقى طولها كما هو و لكن ينكمش طول محورها العرضى و هذا لأن الأجسام تنكمش فى اتجاه حركتها بالنسبة للأثير و نحن لا نلاحظ هذا الإنكماش لأنه صغير جدا نتيجة السرعات الصغيرة التى نسير بها .

و بذلك فقد تمكن الشعاع الموازى من اللحاق بالشعاع الأخر ببساطة لأنه سار مسافة أقل نتيجة انكماش طريقه و لن يمكننا رؤية انكماش الذراع لأن اى مسطرة ستحاول قياس الذراع ستنكمش بدورها و حسب معادلة لورنتز فهذا الانكماش مساوى تماما للفارق المتوقع من قبل ميكلسون و مورلى . و هذا بالطبع يفسر النتيجة.

اينشتين يبدأ فى الظهور

رأى أينشتين أن فرضية لورنتز تلك ليس لها أى علاقة ببقية نظريته فى الديناميكا الكهربية كما أنها تقول ان انكماش الطول يعتمد على حركة الجسم بالنسبة للأثير. فإذا كنا لا نستطيع أن نحدد سرعتنا بالنسبة للأثير فكيف لنا أن نكتب قوانين تعتمد على سرعة الأجسام بالنسبة للأثير.

فى بداية ورقة أينشتين عن النسبية الخاصة عرض هذا المثال:

كلنا يعلم أننا لو مررنا قضيب مغناطيس من خلال ملف معدنى فسيتولد طاقة كهربائية فى الملف .

**إذا كان الملف هو الثابت و المغناطيس هو المتحرك بسرعة v إلى اليمين فسيتولد تيار كهربى فى اتجاه معين و كميته I و ذلك بسبب خلق مجال كهربى فى الأثير عن طريق حركة المغناطيس فيه (قانون فاراداى).**

**إذا كان المغناطيس ثابت و حركنا الملف بالسرعة v- لليسار فسيتولد تيلر كهربى له نفس الكمية I و نفس الاتجاه كما فى الحالة الأولى والسبب هنا مختلف فلا يوجد تيار كهربى فى الأثير لأن المغناطيس ثابت و لكن التيار موجود فى الملف نتيجة انه يسير فى مجال مغناطيسى( قانون لورنتز) اختلاف تام فى الشرح لم يؤدى إلى أى اختلاف فى النتيجة و كل ذلك للحفاظ على الأثير فى نفس الوقت لم تنجح أى محاولة لاكتشاف الأثير فى الكشف عنه فما الداعى لهذا الأثير اللعين ؟ اى شيئ سوف ينتج نتيجة الحركة النسبية بين الأجسام و ليس نتيجة الحركة بالنسبة للأثير . بذلك تم القضاء على الأثير و بما أنه لا أثير فسيكون لهذا نتائج مذهلة سنراها فى الحلقات القادمة . فمبدأ النسبية سيعود مرة أخرى و لكن بمعنى مختلف يؤدى إلى تغيرات جذرية فى طريقة تفكيرنا تنافى كل ما نعتقده.**

## المبحث الخامس  النسبية الخاصة1

فى المبحث السابقة سقط الأثير و ثبت فشل قانون جمع السرعات مع الضوء . أينشتين أصدر نظريته الجديدة التى حل هذه الأمور فيها وفى نفس الوقت توصل لنتائج تنافى معظم خبرتنا عن الزمان و المكان . ستبدو النتائج غريبة لنا لأننا لم نعتد عليها لأننا فى حياتنا اليومية نحرك الأجسام بسرعات ضئيلة جدا . سوف أحاول ذكر كل المعادلات و الرياضيات حتى يتسنى لكم الفهم الكامل للموضوع.

مبادئ النسبية الخاصة

مبدأ النسبية : قوانين الفيزياء

(الميكانيكا،الكهرومغناطيسية،...إلخ) لابد أن تكون ثابتة فى جميع مناطات الإسناد القصورية (التى تتحرك بسرعات منتظمة بالنسبة لبعضها)

ثبات سرعة الضوء: سرعة الضوء فى الفراغ ثابتة بالنسبة لكل المشاهدين فى كل مناطات الإسناد القصورية و هى السرعة القصوى التى لا يمكن لأى جسم تخطيها و لا تعتمد على سرعة المصدر أو سرعة المشاهد وهى $c=3*10^8 m/sec$

المبدأ الأول: يقول أن كل قوانين الفيزياء -الكهربية ،المغناطيسية، الميكانيكية،... .- تبقى كما هى فى جميع مناطات الإسناد القصورية و ليست القوانين الميكانكية فقط

كما تقول نسبية جاليليو أى أنك لا يمكن أن تجرى أى تجربة (قياس سرعة الضوء مثلا) تخبرك ما إذا كنت تتحرك أولا وبذلك فلا معنى للحركة المطلقة.

لاحظ أن المبدأ الثانى نتيجة مباشرة للمبدأ الأول فلو كانت سرعة الضوء تختلف باختلاف المشاهد لأمكننا ان نحدد من يتحرك ولوجدنا نفسنا نناقض المبدأ الأول .

على الرغم من أن تجربة ميكلسون-مورلى قد أجريت قبل ظهور اينشتين إلا أنه ليس واضحا إن كان أينشتين كان على علم بها أولا ، أيا كان الأمر فسنجد أنه فى ضوءالنظرية الجديدة تصبح النتيجة التى وجدها ميكلسون و مورلى ليست غريبة فالضوء سار مسافات متساوية وبنفس السرعة c فكلا الشعاعين لا تعتمد سرعتهما على سرعةالجهاز.

هل بدأت تشعر بغياب الألفة و المنطق فى الحديث ؟؟ إن كنت لم تشعر بهذا بعد دعنا نسأل هذا السؤال :

إذا كنت أنت واقفا على نجم ما و بجانبك مشاهد أخر يستعد للرحيل على صاروخ بسرعة 0.5 c وعندما مر بجانبك بهذه السرعة أطلقت أنت شعاعا من الضوء بنفس اتجاهه بسرعة c بالنسبة لك .

ما هى سرعة الشعاع بالنسبة للمشاهد الأخر؟

إنها c أيضا . هل فهمت ما يعنيه هذا؟؟

لو نظرت إلى شعاع الضوء بعد مرور ثانية على ساعتك ستجد أن الضوء يبعد عنك 300000 كيلومترا و يبعد المشاهد الأخر عنك 150000 كيلومترا و ذلك فبالنسبة لك الضوء يبعد عن المشاهد الأخر 150000 كيلومترا و لكن لو نظر المشاهد الأخر فى الضوء بعد ثانية واحدة لوجده على بعد 300000 كيلومترا منه أيضا!!!

هذا ربما يعنى أن ساعاتكما لا تسيران بنفس المعدل أو أنكما تريا المسافات بتقديرات مختلفة . دعونا نترك هذه النقطة الأن ، أنا عرضت هذا السؤال فقط لأريكم مدى الغرابة و لكى أعرض نقطة أخرى فى غاية الاهمية و هى أن كل منكم سيرى الضوء يبتعد عنه بمعدل 300000 كيلومتر فى الثانية و هذا ما تقره النسبية لكن ربما ترى انت أن الضوء يبتعد عن المشاهد الأخر بمعدل 150000 كيلومتر فى الثانية و فى هذه الحالة فمن الأفضل أن لا نسمى هذه "سرعة الشعاع بالنسبة للمشاهد فى مناطى" ولكن نسميها "معدل تغير المسافة بين الشعاع و المشاهد الأخر بالنسبة لى  أو كما أراها أنا" . و لكن تذكر أن كل مشاهد سيظل يرى شعاع الضوء يبتعد عنه بنفس السرعة c .

**وصف الأحداث:**

**قبل أن نتطرق إلى تبعيات النسبية علينا أولا أن نتذكر كيف يصف المشاهد أى حدث.**

**يصف كل مشاهد فى أى مناط الحدث بثلاث إحداثيات مكانية وإحداثى زمنى وبذلك ينشئ نظام إحداثيات و كل مشاهد يتحرك بالنسبة للأخر سيجعل مركز إحداثياته مختلفا عن الأخر و بالطبع سيصبح إحداثيات كل حدث مختلفة من مشاهد إلى أخر و هذا كلام قديم فلو كان الحدث هو انفجار صاروخ مثلا فسيرى كل مشاهد أن هذا الحدث يبعد عن مركز إحداثياته بمسافات معينة و لكن فى الفيزياء القديمة كانوا جميعا يتفقون على الإحداثى الزمنى.**

**نسبية التزامن:**

**كما ذكرنا سابقا فقد اعتمدت ميكانيكا نيوتن على الزمن الكونى المطلق حتى أن نيوتن نفسه قال :" الزمن الرياضى الحقيقى و المطلق يسير بدون التأثر بأى شيء خارجى"**

و بذلك كان التزامن مطلقا أى أن الحدثين اللذان يحدثان فى نفس الوقت بالنسبة لمشاهد ما هما متزامنين بالنسبة لكل المشاهدين ولكن أينشتين لغى هذا المبدأ تماما وقد أجرى هذه التجربة الذهنية ليوضح كيف هذا.

عربة قطار تتحرك بسرعة منتظمة و فى لحظة ما ضربت صاعقتان مقدمتها و مؤخرتها و تركت علامات على الأرض وعلى العربة . العلامات على الأرض هى A و B و العلامات على العربة `A و `B. هناك مشاهدان O يقف فى منتصف المسافة على الأرض و `O يقف فى منتصف العربة.

واضح أن الإشارات الضوئية التى ستنطلق من A و B عند ضربهما بالصاعقة ستصل O فى نفس الوقت و عندما يود أن يعرف متى حدثت الصاعقتان فعلا فإنه سيطرح الوقت الذى أخذه الضوء من الوقت التى تقرأه ساعته و سيجد أن كل شعاع استغرق نفس كمية الوقت نظرا لأن كلاهما سار نفس السرعة نفس المسافة فلو كان الوقت ثانيةمثلا فسيستنتج أن كل

نفس الوقت فقد وقع الحدثان فى نفس الوقت بالنسبة لـ O

من وجهة نظر. `O عندما وصل الشعاعان إلى O كان `O قد تحرك وواضح من الرسم أن الإشارة من `B وصلته قبل الإشارة من `A. فى الميكانيك الكلاسيكى كان سيقول أن الضوء قطع نفس المسافة (وهى نصف عربة القطار)

ولكن بسرعات مختلفة نظرا لقانون جمع السرعات وبذلك فرغم أن الشعاعان وصلوا إليه فى أوقات مختلفة (من `B قبل `A )إلا أن الشعاع المتأخر أخذ وقت أطول و بذلك فعندما يطرح الوقت فسيصل إلى أن كلا الحدثين حدثا معا ولكن هذه ليست الحالة هنا فكما بينت تجربة ميكلسون- مورلى أن سرعة الضوء ثابتة أى أن كلا الشعاعين هنا سارا بنفس السرعة فبذلك سيستنتج `O أن الصاعقة ضربت مقدمة القطار قبل مؤخرته أى أن الحدثين ليسا متزامنين .

وبذلك نصل لمبدأ نسبية التزامن الذى هو نتيجة مباشرة لقانون ثبات سرعة الضوء . بالطبع نحن لا نشعر بهذا فى حياتنا اليومية لأننا ببساطة نتحرك بسرعات قليلة جدا مقارنة الضوء و لكن هذه التأثيرات حقيقية.

الحدثان المتزامنان فى مناط إسناد معين ليسا بالضرورة متزامنان فى مناط إسناد أخر يتحرك بالنسبة للأول.

تمدد الزمن:

بإمكاننا توضيح ظاهرة تمدد الزمن عن طريق التجربة الذهنية الموضحة فى الصورة . لدينا عربة قطار تتحرك بالسرعة V وفيها المشاهد `O وفى السقف يوجد مرآة .يمسك فى يده مصدر للضوء والمسافة ين

المصدر والمرآة .d فى لحظة ما أطلق نبضة ضوئية (الحدث 1 ) باتجاه المرآة فانعكست وعادت إليه مرة أخرى ، وصولها إلى المصدر مرة أخرى هو الحدث 2 .الزمن بين الحدثين بالنسبة ل `O يسمى الزمن التام) الزمن التام يقيسه مشاهد بين حدثين وقعا فى نفس النقطة فى مناط إسناده) والزمن هنا هو المسافة الكلية على سرعة الشعاع .

لنرى نفس الأحداث من وجهة نظر .O بالنسبة ل O تتحرك العربة وما داخلها بسرعة V وبذلك فعند وصول الضوء للمرآة تكون قد تحركت مسافة V t/2حيث t هو الوقت الذى يستغرقه الضوء للوصول للمرآة ثم العودة مرة أخرى للمصدر بالنسبة ل .Oلاحظ أن O سيرى الضوء يصنع زاوية ما لكى يصل للمرآة و يعود و من الواضح هنا أنالمسافة التى يسيرها الشعاع فى نظر O أكبر و نظرا لأن الضوء يتحرك نفس السرعة فمن الواضح أن O سيقيس زمن أطول بين الحدثين . (لاحظ هنا أنهلا يعرف أى منهما إن كان يتحرك أو لا ) لو أن O شاهد نفس التجربة    والعربة ساكنة لقاس نفس الفارق الذى قاسه `O و لكن لأنه رآها تتحرك فقد وجد أن الفارق أطول و بذلك نصل إلى أن المشاهد يرى الساعات المتحركة تسير أبطأ من ساعته. فلو اعتبرنا أن الضوء يستغرق ثانية فى هذه الرحلة

وهم يستخدمون هذه الأجهزة كساعات فلو أن O معه جهاز مماثل على الأرض فسيرى الضوء يقطع الرحلة فى زمن أقصر مما يقطعه فى القطار وبذلك فسيجد ساعته الضوءية تسير أسرع من الساعة التى فى القطار .

بإمكاننا استنتاج العلاقة بين الزمنين باستخدام المثلث الموضح فى الصورة لاحظ أنه من وجهة نظر `O فإن ساعته الضوئية ساكنة وساعة O هى المتحركة وبذلك سيرى أن ساعة O تسير أبطأ من ساعته . وبذلك نجد أن كل منهم يرى أن ساعة الأخر تسير أبطأ منه وهذا لأنه لا يوجد مشاهد له أفضلية على الأخر فكلاهما يرى نفس الظواهر ولا يمكنه تحديد ما إذا كان يتحرك أو لا. لاحظ أن العلاقة بين الزمنين هنا تعتمد على السرعة النسبية بين الجسمين وليس على سرعة الجسم بالنسبة للأثير كما كان يقول لورنتز وهذه المعادلات والمعادلات القادمة هى تعديلات لمعادلات لورنتز.

هذا الكلام بالطبع لا ينطبق على الساعات الضوئية فقط بل ينطبق كذلك على الساعات الميكانكية التى ترتديها كما ينطبق على كل العمليات الحيوية و كل شيئ فأنت دائما سترى الأشياء تستغرق وقت أطول فى المناط المتحرك بالنسبة لك.

والأن لنوضح ما المقصود بالزمن التام لنسأل هذا السؤال:

هذا يعنى أنك سترى نبضة القلب لرائد فضاء يتحرك بالنسبة لك تأخذ زمنا أطول من نبضة قلبك بينما لا يشعر رائد الفضاء بهذا بل هو من سيرى أن نبضة قلبك أنت تأخذ زمنا أطول من نبضة قلبه هو .

بالطبع عندما نأتى لرسم الزمكان ربما تتضح بعض النقاط التى تبدو مبهمة بعض الشيئ الأن و لكن ما زال أمامنا بعض الوقت حتى نصل إلى هذه النقطة.

بالطبع الكلام يبدو غريبا فى هذه النظرية لذلك أنصحكم بالتأمل فيه و قرآته عدة مرات حتى تقتنعوا به تماما . لقد قمت بوضع المعادلات وسأقوم بوضع بعض المسائل أيضا لكى يتم الفهم الكامل للموضوع . وأنا على استعداد للإجابة عن كافة الأسئلة.

فى نهاية هذه المبحث نصل لأننا فقدنا التزامن و بذلك أصبحت كلمة "فى نفس الوقت" ليس لها معنى إلا عندما تذكر مناط الإسناد الذى تتكلم عنه كما أصبحت بعض الاسئلة مثل "متى حدث هذا؟" مستحيلة الإجابة إلا إذا ذكرت بالنسبة لمن. و ما زال هناك العديد من النتائج المذهلة لهذه النظرية التى غيرت تصورنا للعالم تماما.

## المبحث السادس النسبية الخاصة2

حتى الآن قمنا بتغطية جزء جيد و لكن ما زال هناك الكثير أمامنا . فى المرة السابقة تعرضنا لأحد أغرب نتائج النسبية و هى تمدد الزمن و لقد أثبتنا ذلك وتوصلنا للعلاقة التى تربط الزمن التام بالزمن الذى يقيسه المشاهد الأخر.

أنا أريد أن أقول شيئا. كلما نصل لنتيجة ونضع اثباتها أريدكم أن تتفكروا لماذا لم يتوصل نيوتن لهذه النتائج، بالتأكيد لم يكن نيوتن غبيا أو سيئا بل كان عبقريا.

ولقد حاولت أن أوضح فى كل نتيجة لماذا لم تتوصل الميكانيكا الكلاسيكية لها. يعنى فى نسبية التزامن أكيد كل الناس كانت ملاحظة أن الاشارات ستصل فى وقت مختلف بالنسبة لكل مشاهد ولكن لماذا لم تتوصل إلى نسبية التزامن، هذا ما أقصده. ولقد وضحت ذلك فى شرح نسبية التزامن.

### الاثبات التجريبى لتمدد الزمن

كم يبدو تمدد الزمن غريبا فعلا و ليس من السهل أن تقبله و لكن ماذا لو أخبرتك أنه لحسن الحظ يوجد إثبات تجريبى قاطع لهذه الظاهرة .

يوجد نوع من الجزيئات يسمى الميون. فى هذه التجربة سنضع أرقاما افتراضية خاطئة لأن الأرقام الحقيقية صعبة فعلا.

المهم أن حياة الميون مثلا 4 ثوانى. وبذلك فسيتحلل بعد 4 ثوانى. لنقل الأن أن سرعته 0.6 c و كما ذكرنا فـ cهى سرعة الضوء . أطلقنا أحد هذه الميونات الأن، إذن ما هى المسافة التى سيقطعها هذا الميون قبل أن يتحلل؟؟

يمكننا حساب ذلك ببساطة فالمسافة هى ناتج ضرب السرعة فى الزمن و سنقول أن الميون سيقطع مسافة2.4 c متر. أى 720000 كيلومتر.

حسنا الأن سنجرى التجربة . ماذا وجدنا فعلا ؟؟ ما المسافة التى قطعها الميون فعلا ؟؟

ما وجدناه أن الميون قطع 900000 كيلومتر (3 . c ) ما معنى هذا يا ترى؟ نحن متأكدين من سرعة الميون و نقيسها فعلا كذلك إذن فكما يبدو أن الميون قد عاش أطول لو حسبناها سيبدو كما لو أن الميون قد عاش 5 ثوانى.

المفاجأة إنه يتفق تماما مع تنبؤ المعادلة فالميون يقيس الزمن التام لحياته فهو بدأ وانتهى فى نفس النقطة (لأنه ثابت فى مناط اسناده) وكذلك سيبدو كما لو كان زمنه تباطأ فى مناطنا بنفس النسبة التى قالتها النسبية تماما.

ولكن مهلا، أليس هنا من يفكر قليلا. هناك سؤال لا بد من طرحه هنا وهو واضح تماما. ماذا عن الميون نفسه؟؟ ببساطة الميون لا يدرى أنه يتحرك بل هو يقول أنه ثابت وبذلك فهو ما زال يقيس حياته 4 ثوانى كيف إذن سيفسر اجتيازه لهذه المسافة الطويلة ؟؟

سؤال قوى فعلا و لكن كما يمكنك أن تخمن هناك حتما رد قوى وتفسير ممتاز سنذكره بعد قليل.

مفارقة التوائم:

الأن سنذكر واحدة من أهم التجارب النظرية التى أيضا ستختبر ظاهرة تمدد الزمن . تخيل أن لدينا توأمين هما أحمد ومحمد ، محمد شخص مغامر يحب السفر للفضاء وقرر أن يذهب فى رحلة فضائية فى خط مستقيم ثم يلف ويعود للأرض مرة أخرى . ودع الأخوين أحدهما الأخر وهما فى نفس السن بالضبط . انطلق محمد على متن الصاروخ . الأن عند عودته ماذا سيرى كلاهما ؟

أحمد ثابت على الأرض وبذلك يرى زمن محمد يتباطأ وبينما تمر سنين كثيرة على أحمد فهو يرى أن محمد لم يكبر كثيرا و بذلك فسيستنتج ببساطة أنه عند العودة سيكون محمد شابا بينما هو نفسه سيكون قد أصبح عجوزا ولا يوجد اعتراض فعلا على كلامه.

ولكن محمد ثابت فى مناط اسناده ويرى أحمد (فى الأرض) يذهب مبتعدا عنه وبذلك فإنه سيرى زمن أحمد يتباطأ فالنسبية لا تفضل أى شخص على الأخر فالكل على حق طالما أن مناط اسناده قصوريا. إذن ماذا سيحدث حقا عند العودة من سيصبح كلامه صحيحا.

هنا علينا أن ننتبه إلى شيء ما. محمد عليه أن يبطئ صاروخه فى نهاية الطريق ثم يلتف ويتسارع مرة أخرى فى اتجاه الأرض حسنا فمحمد سوف يغير سرعته واتجاهه وبذلك فمناطه ليس قصوريا أبدا ولا يحق له أن يستخدم النسبية الخاصة للتنبؤ بما سيراه وبذلك فإنه عند العودة سيكون محمد شابا بينما يكون أحمد عجوزا.

لنتحاشى هذا التغير فى السرعة دعونا نقل أن محمد سيغير اتجاهه فى الأن بلا تباطؤ أو تسارع أى أنه سيعكس اتجاهه فى لا زمن (مستحيل نظريا وعمليا) فى هذه الحالة فإنه سيحدث الأتى.

أثناء رحلة الذهاب سيرى محمد زمن الأرض يسير ببطءأثناء القفز من مناط إسناد قصورى إلى أخر سوف يرى زمن الأرض يقفز قفزة هائلة للأمام أثناء العودة سيرى زمن الأرض يسير ببطء ولكن بسبب القفزة التى قفزها زمن الأرض عندما كان يغير اتجاهه فإنه سيجد أخيه أحمد أكبر منه سنا.

السبب فى قفزة الزمن ببساطة هو قفزة محمد من مناط إسناد إلى أخر مما أدى إلى تغير النقطة التى يتزامن معها محمد (نسبية التزامن). لو لم تفهم سبب القفزة جيدا فلا تحزن و لا تحاول فهمها كثيرا فإن فهمها سيصبح

سهلا جدا بعد شرح رسوم الزمكان فى الحلقات القادمة.

إنكماش الطول

سنأتى الأن لنتيجة أخرى و هى أن طول الأشياء ليس ثابتا بالنسبة لكل المناطات و المشاهدين ، لماذا؟

فى الواقع لكى نعرف لماذا و قبل أن أبدأ فى سرد الحسابات لنسأل أنفسنا سؤالا و هو : كيف نقيس الطول ؟

تعلمنا فى السابق كيف نصف الأحداث باحداثيات المكان و الزمان . لو كان لدينا قطارا يتحرك مبتعدا عنا على محور السينات فنحن نقيس طوله بتحديد موقع المقدمة و موقع المؤخرة ثم نطرحهم من بعضهم و نصل لطول القطار (لو المقدمة عند س = 5 و المؤخرة عند س=2 يصبح طول القطار 3 وحدات ) . إذن يبدو أننا يجب أن نعرف موقع المقدمة و المؤخرة فى نفس الوقت أى أننا لن نقيس موقع المؤخرة ثم ننتظر حتى يبتعد القطار

ثم نقيس موقع المقدمة ثم نطرحهم و نحصل على طول القطار . و لكن هل لاحظ أحدكم المشكلة ؟ المشكلة هى أن كلمة (فى نفس الوقت ) لا معنى لها أى أن المشاهدين المختلفين سيروا مقاسات مختلفة.

الان لنقوم بتعريف الطول التام ، المشاهد الذى يقيس طول الجسم التام هو المشاهد الساكن بالنسبة للجسم (تذكر تعريف الزمن التام) فى أغلب الأحيان المشاهد الذى يقيس الزمن التام لا يقيس الطول التام و هذا ليس دائما.

لنقل أن هناك مشاهد ساكن على الأرض يقيس المسافة بين نجمين ساكنان بالنسبة للأرض . وهناك مشاهد يركب صاروخا و يسير من النجم الأول باتجاه النجم الثانى. السرعة النسبية بين المسافر والساكن هى V كلاهما يتفق عليها . الزمن اللازم للصاروخ لكى يذهب من النجم الأول للثانى بالنسبة للأرض هى المسافة (التامة ) بين النجمين مقسومة على السرعة النسبيةV. التقاء المسافر بالنجم الأول والثانى يحدثان فى نفس النقطة (عند الصاروخ) بالنسبة للمسافر وبذلك فهو يقيس الزمن التام بين الحدثين و بسبب ظاهرة تمدد الزمن فإن الزمن الذى يقيسه الساكن (عدد ثوانى أكثر (يرتبط بالزمن التام الذى يقيسه المتحرك بالعلاقة السابق ذكرها. وعلى هذا سيرى المسافر أن طول المسافة L كالآتى:

هكذا نرى أن الجسم ينكمش طوله عندما يتحرك بالنسبة للمشاهد فقد انكمشت المسافة بين النجمين بالنسبة للمسافر لأن المسافة تتحرك بالنسبة له.

دعونا نعود إلى تجربة الميونات الأن فالميون كان يقيس الزمن التام لحياته بينما الأرض تقيس المسافة التامة بين الحدثين. من الواضح أن هناك تفسير جيد للميون . فقد كان سؤالنا هو كيف سيفسر الميون قطعه لهذه المسافة الكبيرة التى قاسها الأرضيون رغم أنه مازال يرى زمن حياته كما هو.

فى الواقع فإنه نتيجة انكماش الطول فإنه لن يرى الطول الذى قاسه الأرضيون بل سيراه أقصر، نعم سيراه كما توقعه بالضبط ولا شيء غريب يحدث.

تذكروا دائما أن تمدد الزمن وانكماش الطول هى ظواهر متابدلة. لا يوجد مشاهد أفضل من الأخر. قد يؤدى هذا إلى عرقلتكم قليلا ولكننا سنوضحه جيدا فى الحلقات القادمة

القطار و النفق:

أحد التجارب التى تثار دائما حول انكماش الطول هى تجربة القطار والنفق ذو البابين ،تخيل أن قطارا طوله 10 أمتار ونفق طوله 9 أمتار . يسير القطار بسرعة 0.6 c . لدى النفق باب فى المقدمة وباب فى المؤخرة. يوجد مشاهد ساكن بالنسبة للنفق يستطيع بضغطة زر أن يغلق بابى النفق ويفتحهما معا.

هذا الساكن يرى القطار ينكمش طوله بحيث يصبح 8 متر . وبذلك فسيقوم بعمل شيئ طريف فعندما يدخل القطار بالكامل داخل النفق سيقوم بغلق البابين و فتحهما فورا وبذلك يكون قد أمسك بالقطار لحظيا داخل النفق (القطار لم يتوقف طبعا) . يمكنه فعل ذلك فالقطار طوله 8 متر بينما النفق طوله 9 متر .

ما رأيك هل هذا ممكن ؟

تصور، إن هذا ممكن حقا . أتخيل الأن سماع صيحاتكم تهتفون " ما هذا ماذا عن مناط القطار، إنه سيرى النفق أقصر" . هذا صحيح فالقطار يرى طوله كما هو 10 متر بينما يرى طول النفق و قد أصبح 7.1 متر.

كيف سيصبح بأكمله داخل النفق ؟

فى الواقع هو لن يصبح بأكمله داخل النفق أبدا و لكن اللعبة هنا هى نسبية التزامن فلقد غفلتم أن البابين متزامنان فى المناط الساكن فقط بينما فى مناط القطار فإن الباب الأمامى سيغلق ويفتح

**ثم يغلق الباب الخلفى و يفتح بعده . أى عند دخول القطار النفق وعندما يقترب من المقدمة سيرى الباب الأمامى يغلق ثم يفتح فتخرج مقدمة القطار من النفق ثم عندما تدخل مؤخرة القطار النفق سيغلق الباب الخلفى ثم يفتح بعد ذلك .**

**(شرح مختلف**

**ولكن نفس النتيجة ( الساكن يمكنه فعلها بينما لا يتحطم القطار كلاهما يتفق على ذلك.**

**هكذا انتهينا من سرد أهم نتائج النسبية الخاصة و لكن ما زال هناك أشياء عديدة سنتطرق إليها المرات القادمة إن شاء الله.**

## المبحث السابع الزمكان فى النسبية الخاصة (نظرة عامة)

فى الواقع فى النسبية لم يعد الزمان منفصلا عن المكان أبدا بل أصبح الزمان هو البعد الرابع بعد أبعاد المكان الثلاثة . وبذلك فقد أصبح تصورنا للكون الذى نعيش فيه هو أنه متصل رباعى الأبعاد يسمى الزمكان.

علينا أولا أن نعرف أنه عندما نرسم الزمكان و نتعامل معه هندسيا فإننا لن نرسمه رباعى الأبعاد - حتى فى أرقى الجامعات لا تتوافر صبورة رباعية الأبعاد - بل أنه اقصى ما يمكننا رسمه هو زمكان يتكون من بعدين مكانيين و بعد زمانى . فى الواقع من أجل التبسيط فسنتعامل مع عالم يتكون من بعد مكانى واحد و بعد زمانى . بينما تكون الأحداث فيه على شكل نقاط لكل منها إحداثيين واحد مكانى و الأخر زمانى.

حسنا و هكذا سيكون الخط العرضى هو x بينما الخط الطولى هو Ct وهذه القيمة هى الزمن مضروب فى ثابت وهو سرعة الضوء هنا أما عن لماذا لم نجعله الزمن فقط و ضربناه فى سرعة الضوء فلا داعى للخوض فى هذا الموضوع الأن على العموم المهم فى الرسم البيانى هو مقياس الرسم وطالما ضربنا الأرقام كلها فى نفس الرقم الثابت فهذا لا يضر بصحة الرسم.

**خط السير**

**الأن لكل كائن أو نقطة فى هذا العالم خط سير أو world line هذا الخط يحدد سيرها فى الزمكان . فمثلا المشاهد الثابت فى مكانه سيكون خط سيره موازيا للخط الطولى أى أنه يسير فى الزمن فقط بلا تحركه فى المكان (**

**لا تنسى أن كل مشاهد ثابت فى مناط اسناده ) الأن لو أنه هناك مشاهد بدأ يتحرك مبتعدا عن المشاهد الثابت فى اتجاه اليمين فكيف سيكون خط سيره فى مناط اسناد الثابت ؟ و ماذا لو تحرك فى اتجاه اليسار ؟**

**الخط الأحمر يوضح خط سير المشاهد المتحرك لليمين ، و الأزرق يوضح خط سير المشاهد المتجه لليسار بينما الأسود الطولى هو خط سير المشاهد الثابت .**

**لو لاحظتم ذلك فإنه كلما زادت سرعة الجسم كلما قطع مسافة أطول فى زمن أقل مما يعنى أن خط سيره سينحرف مبتعدا أكثر عن الخط الطولى حتى يصل الأمر إلى سرعة الضوء.**

فالخط الأصفر يوضح خط سير سرعة الضوء الذي يصنع زاوية 45 درجة مع الخط الطولى . تذكر أنه لا يمكن لجسم ما تجاوز سرعة الضوء أبدا أو حتى الوصول إليها . الخط الأحمر على اليمين هو خط سير مشاهد أخر أو جسم أخر انطلق بنفس سرعة المشاهد المسافر لليمين و فى نفس اتجاهه لكنه ابتدأ من نقطة بعيدة فى المكان . و بما أن له نفس السرعة فإنه ببساطة موازى للخط الأحمر الأول.

بهذا نكون انتهينا من الخط الأول المهم و هو خط السير. تذكر أن كل مشاهد ثابت فى مناط اسناده و حتى الأن نحن لم نقدم شكل مناط اسناد المشاهد المتحرك الذى نرسمه.

البعد المكانى:

الأن لكى تكتمل الصورة لا بد من تعريف الخط العرضى الذى نرسمه متعامدا على الإحداثى الزمنى . ببساطة هذا الخط هو الإحداثى المكانى

أو مقياس المسافة . فى النفس الوقت يوجد وظيفة أخرى هامة لهذا الخط وهو أن جميع النقاط التى تقع على نفس الخط العرضى تحدث فى نفس الزمن أى متزامنة . يتضح الأن أنه لا بد أن يكون هناك خط عرضى مختلف فى مناطات الاسناد المختلفة

و إلا فقدنا نسبية التزامن وهى النتيجة الأساسية للنسية الخاصة.

الأن و بدون اثباتات رياضية أو ما شابه فإن الخط العرضى للمشاهد المتحرك فى اتجاه اليمين أو فى اتجاه اليسار يتم رسمه كالأتى:

واضح أن الخط العرضى ينحرف عن الخط العرضى للمشاهد الثابت بزاوية مساوية تماما للتى ينحرف بها الخط الطولى للمشاهد المتحرك عن الخط الطولى للمشاهد الساكن . و هكذا نكون قد رسمنا الزمكان بطريقة لا بأس بها واضح أنه بالنسبة للضوء ينطبق الخطين على بعضهما.

من الرسم السابق يتضح لنا أول شيئ يقدمه رسم الزمكان و هو أنه يعطى تخيلا جيدا عن ثبات سرعة الضوء فواضح أن النسبة ما بين الزاوية التى يصنعها خط سير الضوء مع الخط العرضى و الزاوية التى يصنعها مع الخط الطولى ثابتة لكل المشاهدين.

والآن لنستعرض بعض الأشياء التى يساعد رسم الزمكان فى فهمها.

تفسير الزمكان لتمدد الزمن

الآن سنأتى إلى واحدة من أهم النقاط الا و هى تمدد الزمن الذى وعدت بشرحه مرة أخرى فى صور جديدة.

و لنبدأ كلامنا بتجربة نظرية. لنقل أنك تسير بسرعة عالية منتظمة وعندما مررت بجانبى بدأ كلانا فى تشغيل ساعته . اعتبر أن سرعتك كانت تحدث تباطؤا فى الزمن بمقدار معين ألا و هو النصف أى أننى سأرى ساعتك دائما تقرأ نصف الوقت الذى تقرأه ساعتى .

هب أنه يمكننا أن نرى ساعات بعضنا البعض بأى وسيلة . الأن بعدما مرت ساعة على ساعتى (ساعتى تقرأ 60:00 ) سوف أنظر إلى ساعتك فلا بد و تبعا للنسبية أن أراها تقرأ 30:00 و لكن عندما تقرأ ساعتك هذه القرأة ستنظر أنت على ساعتى فمن المفروض تبعا للنسبية أن ترى ساعتى تقرأ 15:00 ، تعارض!!. السؤال هو عندما تقرأ ساعتك 30:00 فهل تقرأ ساعتى 60:00 كما أقول أنا أم تقرأ 15:00 كما تقول أنت ؟ ما هى قراءة ساعتى فعلا ؟!

ها قد ظهرنا بتحديا جيدا للنسبية و إذا فشلت فى تفسيره فستسقط النسبية فورا .

لا بد انك تعتقد بوجود طريقة ما هنا للخروج من هذه الورطة .

فعلا هناك شرح منطقى جدا و هو أنه لا يوجد أى تعارض فعندما تقول ساعتك 30 دقيقة فإن ساعتى تقول 60 فى مناطى بينما تقول 15 فى مناطك . اللعبة هى نسبية التزامن ففى مناطى يتزامن حدث قول ساعتك 30 دقيقة مع حدث قول ساعتى 60 دقيقة بينما فى مناطك فإن الحدث متزامن مع قول ساعتى 15دقيقة. و دعونا نتأمل هذا الرسم الجيد فعلا.

هل رأيتم كيف يكون تمدد الزمن متبادلا . لعلكم لاحظتم شيئا غير مرضى فى الرسم . عندما قارن المشاهد الساكن قراءات الساعات فى المرة الولى رسم خطا عرضيا ليعرف ما هى قراءة ساعة المسافر الآن فى مناطه. و

لكنه وجدها أقل منه . الشيئ غير المرضى هو أن طول الخط الطولى للمسافر من الأصل حتى هذه النقطة أطول من طول الخط الطولى للساكن) لأنه خط مائل) فكيف يكون قيمة وقت المسافر أقل إذن . حسنا إنها إضافة منكوفسكى الجبارة هى التى جعلت من الخط المتعرج أطول من الخط المستقيم عكس ما تعودنا دائما . أما ما هى هذه الإضافة فسنتكلم عنها لاحقا بعد شرح تحويلات لورنتز.

مفارقة التوائم فى الزمكان :

بالطبع تمدد الزمن كما قلنا هو أعقد النقط من حيث التخيل . وما زال هناك الكثير من التجارب النظرية لشرح هذه الظاهرة جيدا . ولكن لنعد إلى مفارقة التوائم.

فى مفارقة التوائم، لماذا يظل الأخ المسافر شابا بينما يشيب الأرضى، ألا ينبغى أن يحدث العكس من وجهة نظر المسافر؟ مع العلم ان النسبية لا تفضل أى مشاهد على الأخرالإجابة على هذا السؤال بسيطة جدا ولا تشكل أى تعارض للنسبية.

عندما ينطلق أحد الأخوين و ليكن أويبقى ب على الأرض . طوال رحلة أ ، سيرى ب أن وقت أ يسير ببطء وأنه عندما يعود سيكون أ أكثر شبابا .

من وجهة نظر أ ، ب هو الذى يتحرك و بذلك يجب أن يكون ب أكثر شبابا عند العودة.

سنرى أن وجهة نظر ب هى التى ستحدث و ذلك لانه لكى يعود أ عليه أن يغير سرعته ليتباطأ ثم يلتف ثم يتسارع مرة أخرى و بذلك هو خارج حسابات النسبية الخاصة لأن مناط إسناده ليس قصورى. و لكن دعنا نتفادى هذه النقطة و نقول أن أ قفز فجأة من سرعته (س) إلى (-س) بلا تباطؤ أو تسارع.

فى هذه الحالة لا يمكن ل أ ان يدعى أنه مازال ساكنا لأنه سيجد الأشياء معه فى السفينة تغيرت حالتها كما تفرمل السيارة فجأة.

سيرى أ فى هذه اللحظة زمن الأرض يقفز قفزة كبيرة و هذا بسبب أن فى مناط إسناد أ القديم كانت نقطة التفافه متزامنة مع نقطة ما حيث أخوه مازال شابا و لكن فى مناط إسناده الجديد تتزامن نقطة التفافه مع نقطة ما حيث أخوه عجوز. و هذا راجع لنسبية التزامن.

و كلما التف على بعد أكبر كانت القفزة فى زمن الأرض أكبر و بذلك مهما تباطأ زمن الأرض بالنسبة لـ أ فى رحلة الذهاب و العودة فإن القفزة فى زمن الأرض كافية لتحقيق تنبؤ النسبية الخاصة.

## المبحث الثامن (تحويلات جاليليو)

كما تعلمنا سابقا أن المشاهد يصف الأحداث بـ 3 إحداثيات مكانية وإحداثى زمنى . الأن لو لدينا مشاهدين يتحركان بالنسبة لبعضهما البعض فكيف سيرى كل منهما الحدث . سنناقش الأمر أولا من وجهة نظر تحويلات جاليليو . لو كان لدينا مناط الاسناد الساكن S و يوجد مناط اسناد أخر يتحرك لليمين بالنسبة ل `S بسرعة v و وقع حدث ما عند النقطة P فوظيفة تحويلات جاليليو هى أنها تمكنك من إيجاد الإحداثيات التى يراها مشاهد ما كدوال فى الاحداثيات التى يراها المشاهد الأخر و تتلخص تحويلات جاليليو هكذا"

$$X` = X - vt$$

$$Y` = Y$$

$$Z` = Z$$

$$t` = t$$

ولكننا نحب دائما أن نتعامل مع فروق بين حدثين كالمسافة بينهما أو الفارق الزمنى بينهما و ببساطة لو اعتبرنا أن هناك حدثين عند النقط P ,Q فإن تحويلات جاليليو تعمل أيضا و قوموا بتجربة ذلك عن طريق طرح احداثيات الحدث عند النقطة p من احداثيات الحدث عند النقطة Q و سنجد أن صورة تحويلات جاليليو:

dX`=dX–vdtdY` = dYdZ` = dZdt` = dt

= dدلتا) أى الفارق (هذه التحويلات تقول أن كلا المشاهدين يقيس فارق زمنى واحد بين الأحداث كما أنها تقول أنه عندما يكون الفارق الزمنى بينهما صفرا يقيس كلا المشاهدين نفس المسافة بين الحدثين. لنجد هنا أن تحويلات جاليليو تناقد أهم نتيجتين للنسبية وهما تمدد الزمن وانكماش الطول. من هنا كان لا بد لنا من البحث عن معادلات أخرى تفى بالغرض دون التعارض مع النسبية ومن هنا كان اللجوء لتحويلات لورنتز التى وضعها هندريك لورنتز قبل النسبية فى الكهرباء والمغناطيسية ولكن أينشتين هو من استخدمها فى النسبية وقام بوضع معنى فيزيائى لها كما أنه خلصها من اعتمادها على الأثير بجعلها تعتمد على السرعة النسبية بين المشاهدين.

فى الواقع لم تكن تلك هى السلسلة التاريخية للأحداث فانكماش الطول وتمدد الزمن و معادلاتهم هى نتائج لتحويلات لورنتز و ليست أسباب لها . ولكن بما أننا استنتجناالمعادلات السابقة من دون هذه التحويلات فلا يوجد مانع من السير بهذا الترتيب حيث أنه أبسط و أسهل لأنه فى الحقيقة اثبات تحويلات لورنتز من العدم أى من مبدأى النسبية الخاصة صعب و طويل . و لكننا سنضع اثباتا سهلا اعتمادا على ما قمنا به فى الحلقات السابقة

(تحويلات لورنتز)

سنضع نفس الافتراضات التى وضعناها سابقا وهى أن لدينا مناطى اسناد يتحركان بالنسبة لبعضهما واحد ساكن والأخر يتحرك باتجاه اليمين متوازى للأول . بالنسبة للبعدين Y,Z فلن يحدث شيئا لأن انكماش الطول

يحدث فقط فى اتجاه الحركة. والأن سنبدأ باستنتاج تحويلات لورنتز . لن أقوم بكتابة علامة (دلتا ) أو ( d) ولكن اعلموا أننا دائما نتحدث عن فوارق. احداثيات الساكن ستكون بدون شرطة والمتحرك بشرطة. والأن لا بد لمعادلاتنا أن تكون لها الصورة الأتية :

$$x = Ax` + B t`$$

$$t = C t` + D x$$

`حيث A,B,C,D ثوابت تعتمد على السرعة النسبية . و بايجاد قيمة هذه الثوابت سوف نحصل على تحويلات لورنتز .

ملحوظة:

فى هذه المعادلات أعلاه قمنا بافتراض فرضين وهما :

أن هذه الدوال (المعادلات أو العلاقات) خطية أى معادلات من الدرجة الأولى.

أن الثوابت تعتمد فقط على السرعة النسبية وتتغير بتغيرها ولا تعتمد على أية إحداثيات.

لا داعى للخوض فى اثبات هذين الفرضبين . إن اثباتهم قصير و لكن ربما لن تفهموه جيدا فلا داعى للتشتيت الأن.

والأن فلنقم باستنتاج القانون :

عندما يرى المشاهد المتحرك المسافة بين حدثين صفرا فهو يقيس الزمن التام وسنحصل على الزمن الذى يقيسه الساكن بمعادلة تمدد الزمن.

عندما يقيس الساكن الزمن بين حدثين صفرا فهو يقيس المسافة التامة (الأطول) بينهم و يمكننا أن نحصل على ما يشاهده المتحرك بمعادلة انكماش الطول.

عندما يرى الساكن حدثين يحدثان فى نفس النقطة فلا شك أنه فى الزمن بين الحدثين سيكون المتحرك قد ابتعد لمسافة ما وبذلك فسيقول أن الحدث الثانى حدث فى نقطة أبعد عن الحدث الأول بمسافة تساوى السرعة النسبية بين المناطين مضروبة فى الزمن بين الحدثين كما يقيسه المتحرك (الساكن يقول أن المتحرك يتحرك لليمين بالسرعة Vو المتحرك يقول أن الساكن وكل ما فى مناطه يتحرك لليسار بالسرعةV- )

إذا كان الساكن يرى حدثين متزامنين فالتأكيد كما وضحنا سابقا أن المتحرك سيرى أن هناك فترة زمنية بين الحدثين هذه الفترة يمكن استنتاجها وستساوى القيمة المكتوبة فى الجدول أعلاه.

وبهذه الطريقة وبالتعويض فى المعادلات بالأعلى سنستنتج أن هذه الثوابت هى: وهكذا نصل إلى صورة المعادلات التى تربط بين ما يراه الساكان اعتمادا على ما يراه المتحرك . إذا أردنا أن نحصل على المعادلات العكسية

فلا مشكلة، كل ما علينا هو أن نعكس إشارة السرعة النسبية لعلكم تتسألون كيف يكون استنتاج هذه التحويلات بهذه السرعة و البساطة .

الإجابة هى أننا قمنا بمعظم العمل فى الحلقات السابقة و لكننا لو أردنا استنتاج قانون لورنتز ابتداء من فرضيات النسبية فقط فسوف يكون أطول و أصعب بالتأكيد.

تحويلات لورنتز للسرع:

مع تغير مفاهيم الزمان والمكان واختلافهما بالنسبة للمشاهدين لم يعد من الممكن الاحتفاظ بقانون جمع السرع الكلاسيكى الذى يعرفه الجميع وأصح لا بد من وجود قانون أخر لجمع السرع يمكن منه التنبؤ بسرعة جسيم ما بالنسبة للمشاهد المتحرك اعتمادا على السرعة التى يقيسها الساكن للجسيم و العكس صحيح . فكما يعرف الجميع أن السرعة تساوى معدل تغير المسافة مع الزمن . و بما أن المسافة لها 3 أبعاد فكذلك السرعة لها 3 مركبات و هم السرعة فى الاتجاه الطولى X و السرعة فى الاتجاهين الأخرين Y و . Z و سرعة أى جسيم ستتكون من هذه المركبات الثلاثة . من المعروف أن الاختلاف على المسافة يكون فى اتجاه الحركة فقط و بذلك فسيؤثر على السرعة فى اتجاه الحركة فقط و لكن لا تنسى أن الزمن يتغير فى كل الاتجاهات و بذلك فسوف نستنتج ثلاث قوانين . يعتمد الاستنتاج على مفاضلة `X و `tبالنسبة ل t

**ثم نقسمهم على بعضهم فنحصل على $dx`/dt`$ و هذا هو تعريف السرعة و بذلك نحصل على قانون السرعة. نفس الأمر فى الاتجاهين الأخرين . الاستنتاج كالأتى بنفس الطريقة نحصل على المركبين الأخرين للسرعة.**

**الفاصل الزمكانى (القيمة الثابتة):**

**صدق أو لا تصدق.أخيرا وجدنا قيما ثابتة يتفق عليها جميع المشاهدين ألا و هى الفاصل الزمكانى بين حدثين . نرمز للفاصل هذا بالرمز (ds) وال d كما نعلم هى ترمز للتغير. فى زمكان رباعى الأبعاد يتم حساب الفاصل بهذه الطريقة:**

**$(ds)^2 = (dx)^2+(dy)^2+(dz)^2-(c\ dt)^2$ بالنسبة للساكن**

**$(ds`)^2 = (dx`)^2+(dy`)^2+(dz`)^2-(c\ dt`)^2$ بالنسبة للمتحرك**

**هذه القيمة ثابتة بالنسبة للساكن والمتحرك (كل منهما حر فى اعتبار نفسه ساكن).**

**أى أن $ds = ds`$**

**المثير فعلا أن تحويلات لورنتز تقودنا لهذه النتيجة فلو أنك عوضت عن القيم التى يراها المتحرك بتحويلات لورنتز فستصل فى النهاية إلى أن القيمتين متساويتين.**

**ملحوظة : بعض الكتب بدلا من أن تطرح مربع الزمان من مربع الأبعاد المكانية تقوم بعمل العكس . على العموم لا فرق بينهما .**

**ملحوظة : نحن سنتجاهل y و .Z لأننا كما قلنا لا نلاحظ شيئا غريبا بصددهما .**

**أنواع الفاصل**

**قبل أن نناقش أنواع الفاصل علينا أن نتذكر ما قلناه عن الزمكان . تذكر أن الزمكان متصل رباعى الأبعاد كل نقطة فيه تمثل حدث . هذا الحدث يتم وصفه بأربع إحداثيات ثلاث منها مكانية والأخر زمانى.**

**الأن حان الوقت أن نعلم لماذا فقد الزمان استقلاله وهذا واضح من المعادلة الخاصة بتحويلات الزمن فى معادلات لورنتز بالأعلى حيث أننا وضعنا الزمن كدالة فى إحداثيات الزمان و المكان و بهذا أصبح الزمن أيضا يعتمد على المسافة بين الأحداث . بهذه الطريقة لم يعد الزمن مستقلا . و قد قام منكوفسكى بالتمثيل الرياضى لهذه الحقيقة بجعل الإحداثى الزمنى**

**الجذر التربيعى ل -i1 =**

**سرعة الضوءc =**

**الزمن يساوىt =**

وسيتم شرح هذه الحقيقة الرياضية و تأثيرها فيما بعد ،الأن نأتى لأنواع الفاصل وهى ثلاث أنواع حسب إشارة قيمة الفاصل S سالبة أو موجبة أو صفر . أو بمعنى أخر الثلاث أنواع هم:

فاصل مكانى (المسافة المكانية أطول من المسافة القادر على قطعها الضوء فى الفارق الزمنى و بذلك فالقيمة موجبة)

فاصل زمانى (المسافة الزمانية أقصر من المسافة القادر على قطعها الضوء فى الفارق الزمنى و بذلك فالقيمة سالبة)

فاصل صفرى (كلاهما متساويين و بذلك فالنتيجة صفر)

فى الشكل القادم سنستعرض المعنى الهندسى للفاصل الزمكانى

الخطوط الصفراء تمثل مسار أشعة الضوء. الخطان الصفر المتجهان للأعلى هما شعاعان ضوئيان انطلقا من عند نقطة الأصل بينما الخطان القادمان من أسفل هما شعاعان قادمان من الماضى ومتجهان لنقطة الأصل . تخيل أن هناك حدث معين يحدث عند نقطة الأصل. الخطوط الحمراء تربط هذا الحدث بأحداث أخرى الفاصل بينها و بين الحدث عند نقطة الأصل زمانيا.

على العكس تربط الخطوط الزرقاء بين هذا الحدث و أحداث أخرى تبعد عنه بفاصل مكانى. النقطة على شعاع الضوء تبعد عن الحدث عند نقطة الأصل بفاصل صفرى.

طبعا أنتم تعرفون أن النقاط أسفل المحور العرضى تعتبر فى ماضى هذا الحدث بينما تلك التى فوق المحور العرضى هى فى مستقبل الحدث.

من هذا التوضيح يتضح لنا أنه لكى تسافر من نقطتان الفاصل بينهما:

مكانيا : عليك أن تسير أسرع من الضوء (غير ممكن)

زمانيا : عليك أن تسير أبطأ من الضوء (ممكن)

صفريا : عليك أن تسير بنفس سرعة الضوء (الموجات الكهرومغناطيسية فقط يمكنها ذلك)

حسنا هنا نصل إلى نقطة مهمة وهى أن الأحداث المفصولة مكانيا لا يمكن أن تؤثر فى بعضها البعض بينما تلك المفصولة زمانيا أو صفريا يمكنها أن تتأثر ببعضها البعض و هنا ظهر لدينا مفهوم جديد وهو المخروط الضوئى.

لاحظ أن أشعة الضوء فى الشكل تكون شكلين مخروطين واحد فوق المحور العرضى و الأخر أسفله . هذين المخروطين يضمان داخلهما كل النقاط المفصولة زمانيا عن نقطة الأصل (النقطة التى يلتقى فيها المخروطين) و يقع على حوافهما النقاط المفصولة صفريا عن نقطة الأصل بينما تقع خارجهما كل النقاط المفصولة مكانيا عن نقطة الأصل. ولقد أطلقنا على كل مخروط منهما اسما:

مخروط الماضى : ذلك الذى يقع أسفل المحور العرضى و يضم داخله كل الأحداث التى يمكنها أن تؤثر فى الحدث عند نقطة الأصل

(أو ممكن أن يكون قد جاء منها مشاهدايقف عند نقطة الأصل)

مخروط المستقبل : ذلك الذى يقع فوق المحور العرضى ويضم داخله جميع النقاط التى يمكنها أن تتأثر بالحدث عند نقطة الأصل (أو يمكن أن يصل إليها مشاهد يقف عند نقطة الأصل)

بالطبع هذا الكلام ليس حكرا على نقطة الأصل بل إن كل مشاهد لديه هذين المخروطين يتحركان معه دائما. و يشكلان مستقبله و ماضيه.

النسبية و السببية:

عندما تناولنا نسبية التزامن تكلمنا عن كيفية اختلاف ترتيب الأحداث بالنسبة للمشاهدين المختلفين و بذلك أصبح لا معنى لكلمة قبل و بعد و لكن لعل أحدكم لاحظ ماذا يمكن أن ينتج عن هذا الفرض.

تخيلوا معى أنك ترمى سهما ليسقط تفاحة . نحن هنا لدينا حدثين وهما رمى السهم وسقوط التفاحة . يبدو هنا أن رمى السهم كان سببا وسقوط التفاحة هو نتيجة . السببية تقول أن السبب لا بد أن يكون قبل النتيجة أى أنه لا بد من رمى السهم لكى تسقط التفاحة وهذا كلام منطقى ولا بد أن يكون صحيحا. ولكننا قلنا أنه لا معنى لترتيب الأحداث فإنه يختلف من مناط لآخر. يا لها من ورطة! حل هذه الورطة يكمن فى أنه لا يمكن لأى مشاهد أن يسير بأسرع من الضوء كما أنه لا يمكن أن يتأثر حدث بأخر بأى وسيلة أسرع من الضوء. وبهذا فإنه لا بد أن رمى السهم وسقوط التفاحة مفصولان فاصلا زمانيا . وتلك هى النقطة : جميع المشاهدين يتفقون على ترتيب الأحداث المفصولة زمانيا مهما كانت حالتهم من الحركة ، لاحظ أن الفترة بين الحدثين تختلف من مشاهد لأخر

ولكن جميعهم يتفق على أن السبب حدث قبل النتيجة . وهذا ينتج عن أنه لا يوجد مشاهد منهم يتحرك أسرع من الضوء . ولهذا كان السير أسرع من الضوء غير ممكن . لأننا لو سرنا أسرع من الضوء لرأينا تفاحات تسقط قبل رمى السهم و رسالات تصل قبل أن تُرسَل و ما إلى ذلك .

هكذا تظهر أهمية فرضيات منكوفسكى. عند هذه النقطة نكون قد أنهينا جزئا كبيرا جدا من النسبية الخاصة والباقى يقع تحت اسم ديناميك النسبية . وهذا الجزء يعتبر رياضيا أكثر وبذلك فإن الجزء السابق هو الأهم ولذلك أنصح بقرائته جيدا . بالطبع لن نستغرق وقتا طويلا فى النسبية العامة أو الكم لأننا لن نتوسع فيهما . بعد ختام هذا الجزء سوف نقدم ميكانيك الكم، وستكون بلا أى رياضيات ولن نتوسع فيها لأن التوسع فيها يحتاج إلى رياضيات عالية المستوى.

## المبحث التاسع: ميكانيك الكم

### معلومات جديدة عن الضوء

الوصف الناجح للضوء كموجة كهرومغناطيسية كان أحد انجازات الفيزياء الكلاسيكية ، بنظرية واحدة بسيطة يمكنك أن تشرح العديد من خواص الضوء و أشعة اكس و موجات الراديو ....إلخ و لكن مع بداية القرن الجديد ظهرت تجارب جديدة بل و مشكلات نظرية أيضا لا يمكن تفسيرها ، لشرح هذه التجارب بالكامل سنأخذ ورقة أو اثنتين مثل هذه ولذلك سنناقش نتائجهم فقط.

فى 1905 وضع أينشتين فرضية جديدة تمكنت من تفسير هذه المشكلات مثل "التأثير الكهروضوئى" بل و التنبؤ بأشياء جديدة و كل هذه النتائج أثبتها عمليا روبرت ميليكان (لقد حصل أينشتين على جائزة نوبل بسبب هذه الفرضية و ليس بسبب النسبية)

الفرضية هى أن الضوء يمكن أن يعتبر كجسيمات . شعاع الضوء عبارة عن جسيمات متفرقة سماها أينشتين "فوتونات".

لو أنك فتحت مصباحا لمدة دقيقة ثم أغلقته يمكنك القول أنك أطلقت العدد س من الفوتونات. (عمليا هذا العدد كبير جدا لا يمكنك عده!) أينشتين تمكن بهذه الفرضية من شرحالتأثير الكهروضوئى و كل المشاكل الأخرى بالاضافة الى شرح النتائج القديمة بطريقة جديدة.

و لكن هذه الفرضية تضعنا فى مأزق . فتجربة يونج أثبتت أن الضوء موجة لأن يظهر نمط التداخل الذى لا تتمكن الجسيمات مثل الكرات الصغيرة من اظهاره . قبل أينشتين بكثير كانت تلك التجربة حجة كافية لرفض فكرة أن الضوء مكون من جسيمات.

الأن لدينا دليل تجريبى على أن الضوء موجة "تجربة يونج" و دليل أخر على أن الضوء جسيمات "التأثير الكهروضوئى" . يمكنك أن تعتقد أن حل المشكلة هو أن الضوءموجة مكونة من جسيمات مثل موجات المياه مثلا، ولكن هذا الشرح لن يعمل كما سنشرح لاحقا . يمكنك أيضا أن تعترض لأننا لم نشرح أى دليل على النظرية الجسيمية للضوء لأننا لم نشرح التأثير الكهروضوئى مثلا . و لكننا سنقوم بعمل ما هو أفضل .

سنستخدم تجربة يونج لاثبات الطبيعة الجسيمية للضوء . و لاظهار التعارضات الناتجة عن شرح الضوء كموجة وجسيمات ووسط هذه التعارضات ستظهر ميكانيكا الكم لحل هذه المشكلات كلها.

تجربة الفتحتين مرة أخرى:

معظم الناس عندما يقرأون نظريات الكم لا يفهمونها أو لا يصدقونها أو الأمرين معا . لذلك سنبدأ بالتجارب قبل النظريات.

فى هذا الجزء سنعيد تجربة يونج باختلاف بسيط . استخدم مصدر ضوء خافت جدا جدا جدا . و بدلا من الحائط الأسود ضع سطح فوتوغرافى متصل بكمبيوتر . عند اجراء التجربة سيرتطم بالسطح كمية ضئيلة جدا من

الضوء و لكن الكمبيوتر سيخبرك أين و متى ارتطم الضوء . و مع الوقت سيصبح السطح الفوتوغرافى مسجل لكل الضوء الذى ارتطم به.

النظرية القديمة تؤكد لك أن ما ستراه هو ضوء يرتطم بالسطح فى أعمدة معينة فى نفس الوقت لاظهار نمط التداخل المعروف . و لكن ماذا وجدنا فعلا ؟؟

لقد وجدنا أن كمية من الضوء ترتطم بالسطح فى نقطة معينة عند زمن معين . لا ترتطم كميتان فى نفس الوقت

بل أن الضوء يرتطم فى كميات متفرقة فيصنع بقعة هنا وبقعة هناك بفارق زمنى ضئيل و لكن مقاس بينهم و النمط المعروف يظهر بعد ارتطام عدد كبير من كميات الضوء .

هذه النتيجة تبدو مفزعة فى ضوء النظرية الموجية و لكن فى نظريتنا الجديدة هذا يبدو طبيعى . فالضوء ينطلق كجسيمات متفرقة (فوتونات لا تنقسم (الواحد تلو الأخر و يرتطم الواحد تلو الأخر ليرسم فى النهاية النمط المعروفللتداخل. و لكن كما حذرنا سابقا فالتبعيات ستكون عجيبة لو نظرت بدقة أكثر.

لنبدأ بتجربة الفتحة الواحدة، انت تطلق فوتون واحد فيعبر الفتحة و يرتطم بالشاشة دون ترك نمط معين، فقط بقعة صغيرة. بعد الكثير من الفوتونات يبدأ النمط المألوف للتجربة فى الظهور. عمود مضئ فى الوسط (حيث ارتطم الكثير من الفوتونات) يصبح أقل اضائة كلما اتجهت للأطراف (حيث ارتطم القليل من الفوتونات .(إذن فالفوتونات تصرفت كجسيمات وأعطت نفس نتيجة التجربة مع الكرات الصغيرة. و لكننا نعلم أن تجربة الفتحة

الواحدة تعطى نفس النتيجة مع الجسيمات و الموجات فبذلك نحن لم نستفد كثيرا هنا.

الجزء المثير يبدأ هنا،عندما نأتى لتجربة الفتحتين. مرة أخرى نرى فوتونا يرتطم فى بقعة معينة و فوتونا فى بقعة أخرى و بعد العديد من الفوتونات يبدأ النمط فى الظهور. و لكن هل هو "نمط الجسيمات" مثل الكرات أم "نمط الموجات" ؟ الاجابة هى : نمط الموجات. أعمدة مضيئة (حيث ارتطم الكثير من الفوتونات (بينها أعمدة مظلمة (حيث ارتطم القليل من الفوتونات). هذه النتيجة كانت لا بد أن تحدث لأن الفوتونات هى الضوء وهذه التجربة هى نفس التجربة القديمة فقط أبطأ (مصدر ضوئى ضعيف).

ولكن يوجد مشكلة نظرية عويصة هنا ربما تكون لاحظتها. لماذا لدينا أعمدة مظلمة؟ التفسير قديما كان أنه فى هذه النقاط يتداخل الضوء القادم من احدى الفتحتين مع الضوء القادم من الفتحة أخرى فيلغيا بعضهما هنا. هذا كان منطقيا لأن الضوء كان يتدفق باستمرار عبر الفتحتين فى النظرية الموجية. و لكن فى حالتنا لدينا فوتون واحد تلو الأخر ، كل فوتون يعر من فتحة فمع ماذا يتداخل اذا كان فى وقت عبوره من الفتحة لم يكن يعبر أى شيئ من الفتحة الأخرى.[ لهذه النتيجة لا يمكننا اعتبار الضوء كموجات المياه . الموجات تعطى نمط التداخل

لأن جزئا منها (الذى عبر من الفتحة الأولى) يتداخل مع الجزء الأخر(الذى عبر من الفتحة الثانية) لو قمت بعمل التجربة باعتبار اطلاق جسيم واحد فى المرة فلن يكون هناك شيئا ليتداخل معه.

من فضلك توقف للحظة ، فنحن الأن فى أهم نقطة. كل شيئ يعتمد على احساسك بلا منطقية ظهور نمط التداخل مع الضوء فى ظل اعترافنا بطبيعته الجسيمية. لتفهم الأمر جيدا قم بالوقوف أمام الحائط فى تجربة الفتحة الواحدة. العديد من الفوتونات لا يعبر من الفتحة و لكن كل مدة يعبر فوتونا و يرتطم بالحائط. سيرتطم بعض منهم بوجهك مباشرة.

الأن، يأتى شخصا أخر ويفتح فتحة أخرى فى الساتر. لا شيئ أخر تغير. ولكنك فجأة بدأت تشعر بأنه لا يرتطم بك فوتونات قادمة من أى الفتحتين. لقد كنت واقفا فى منطقة عمود مظلم. لم يكن مظلما عندما كان هناك فتحة واحدة و لكنه أظلم عند عمل فتحة أخرى.

لماذا لا يرتطم بك أى فوتون؟ فهل توقفت الفوتونات عن عبور الفتحة كليا بسبب عمل فتحة أخرى؟ أم مازال هناك فوتونات تعبر ولكنهم لا يأتون عندك فقط بسبب عمل فتحة أخرى؟ التفسيرين ليسا منطقيان ولكن لا بد أن يكون أحدهما صحيح.

بدلا من محاولة تفسير الموضوع نظريا فلنلجأ لتجربة. لنضع جهاز قياس على الفتحات ليعرف من أى الفتحتين عبر الفوتون. بهذه الطريقة سنعرف اذا كان عمل فتحة جديدة قد تسبب فى تقليل مرور الفوتونات عبر الفتحة الأولى أم قام بتغيير اتجاه الفوتونات العابرة من الفتحة الأولى. ماذا وجدنا؟؟ لقد ظهر شيئا غير متوقع على الاطلاق. نمط التداخل الموجى اختفى. بدلا منه، يظهر نمط الجسيمات الذى ظهر فى تجربة الكرات - عمودين من الضوء تقل اضائتهما كلما اتجهنا للأطراف. لا أعمدة مظلمة.

لا يهم كيف نقوم بالقياس، النتيجة دائما واحدة :" عندما لا نعرف من أى الفتحتين يعبر الفوتون، نرى نمط التداخل الموجى.

عندما نعرف من أى الفتحتين عبر الفوتون، لا نمط تداخل. سنناقش هذه النتيجة بالتفصيل فيما بعد. و لكن الأن يجب أن نؤكد أن هذه ليست نظرية إنما حقيقة تجريبية تم تأكيدها عدة مرات. يبدو منطقيا أو لا : قياس طريق الفوتون يؤدى إلى تغيير ما يفعله الفوتون.

ربما عليك أخذ بعض الوقت للفهم ربما يمكن أن تقرأ هذه النقطة مرة أخرى. فقط عليك التأكد من أن هذه النتائج حقيقة، هل تفهم لماذا تبدو غير منطقية؟ هل يمكنك تفسيرها؟

التطلع إلى نظرية جديدة:

الفيزيائيين التجريبيين يقومون بالتجارب و يكتبون النتائج. بما أنه ليس فى وسعنا تكرار التجارب (إلا إذا كنت تملك هذه الأدوات فى منزلك) فعلينا أن نكون الفيزيائيين النظريين - نقبل النتائج، و نبحث عن تفسير.

لا بد أن نكون حذرين الأن. نحن لدينا نتائج عجيبة، و لتفسيرها سنحتاج لأفكار غريبة. قبل أن نبدأ فى وضع النظرية فلنقم بوضع ملاحظاتنا عن التجارب السابقة: أول ملاحظة هى أنه فيما عدا إذا حاولنا وضع أجهزة القياس فإن نتيجة التجربة التى أطلقنا فيها فوتونا تلو الأخر تبدو مطابقة للتجربة القديمة للضوء. و هكذا نضع "مبدأ التكافؤ" و الذى يقول أنك لو أخذت مجموعة من الفوتونات و قررت متابعة تصرفهم كمجموعة واحدة وليس كل على حدة فإنك ستجدهم يتصرفون كالضوء تماما، و هذا ليس عجيبا

فهذه المجموعة أصلا ضوء. بمعنى أخر فإن مبدأ التكافؤ يؤكد أن الفيزياء الكلاسيكية جيدة و تعطى توقعات صحيحة طالما أنك لا تنظر للأمور بالتفصيل أى أنها ستتوقع تصرفات الضوء(مجموعة كبيرة من الفوتونات) و لكن لن تعرف كيف يتصرف كل فوتونا منهم.

ملاحظة أخرى عندما أجرينا تجربة الكرات الصغيرة اضطررنا إلى رج المدفع الذى يطلقهم لكى لا تذهب كل الكرات لنفس النقطة . ولكن فى حالة الفوتونات لم نقم بعمل أى شيئ. مصدر الضوء يقوم بعمل نفس الشيئ دائما و مع ذلك فالفوتونات تذهب لأماكن متفرقة. بالطبع لن يذهبوا كلهم إلى نفس النقطة و إلا لما تصرفوا كالضوء ولما لاحظنا نمط التداخل. هذا يدفعنا دفعا إلى أحد مبادئ الكم الأكثر تأريقا : يمكنك أن تجعل البدايات دائما ثابتة و لكنك ستحصل على نتائج مختلفة. بمعنى أخر يوجد عشوائية حقيقية فى الكون. يمكنك احصائيا أن تتوقع إلى أين سيذهب الفوتون فى الغالب (بالاعتماد على النمط الظاهر أمامك)، و ليس إلى أين سيذهب الفوتون بالضبط. ربما تشكك

فيما إذا كانت البدايات فعلا ثابتة فى كل مرة .ربما هناك شيئا مختلفا فى الفوتونات يجعلها تذهب لأماكن مختلفة على الرغم من أن مصدر الضوء يفعل الشيئ نفسه كل مرة بالنسبة لقياستنا (أى أنه يوجد اختلاف لا يمكن قياسه يؤدى لنتائج المختلفة) . هذا النوع يسمى نظريات "المتغير الخفى" التى تقول أنه هناك خصائص خفية فى البدايات تحدد مسار الفوتون لا يمكننا قياسها و بذلك تبدو البدايات كأنها ثابتة بالنسبة لنا و لكنها ليست كذلك. بينما تبدو هذه الفكرة جيدة فإن معظم الفيزيائيين يرفضونها لأنها لا تقدم حلولا و شروحا لبعض المواقف و أن ميكانيك الكم فعلا تتطلب مبدأ العشوائية الحقيقية.

لو أنك فهمت هذين المبدأين - التكافؤ و العشوائية- يمكن أن تبدأ فى تجميع الأمور. تخيل لو رميت قطعة نرد. قطعة نرد واحدة لا يمكن توقع ما تظهره.ربما 1 أو 6 أو 3، من يعلم؟ و لكنك لو رميت مليون قطعة فإنك يمكنك أن تتأكد من أنك لو حسبت متوسط الأرقام التى ستظهر) جمعتهم وقسمتهم على مليون) فسيكون المتوسط 3.5 (و هو متوسط الأرقام الموجودة على الزهر). هكذا يقول مبدأ التكافؤ أن الفيزياء الكلاسيكية نجحت لأنها كانت تتعامل مع خصائص مجموعات كبيرة من الأشياء (فوتونات ، نرد) وتضع توقعات صحيحة. ولكن هذه القواعد لا تسرى على كل جسيم منفردا الذى يمكن أن يتبع قواعد مختلفة.

فى النفس الوقت علينا أن نؤكد مرة أخرى، مثال النرد هو للتبسيط فإنه يوجد فروق جوهرية ين عشوائية النرد و عشوائية الفوتون. رمى النرد ليس فعلا عشوائيا، فلو إنك علمت كل شيئ عن وزن النرد و توزيع الوزن و زاوية اطلاقها... إلخ فإنه يمكنك التنبؤ جيدا بمسارها والرقم الذى سيظهر. أما مع الفوتون فلا يهم قدر ما تعرف عن الأوضاع البدائية : لأنه حتى فى وجود بدايات ثابتة تحدث نتائج مختلفة. (بالطبع النرد مكونة من ملايين الجسيمات
الصغيرة التى تتبع عشوائية الكم و لكن لأنهم بالملايين فيمكن للقوانين الكلاسيكية التنبؤ بالتصرف العام لقطعة النرد)

حسنا، لنعد مرة أخرى لتجاربنا، ما هى الملحوظات الأخرى؟ أحد الأشياء الأكثر غرابة هى أنه عمل فتحة ثانية أحدث تغييرا فى الفوتونات التى تخرج من الفتحة الأولى. يبدو أنه من المستحيل أن نتجنب فرض أنه عندما يعبر الفوتون من الفتحة الأولى فإن شيئا ما يعبر من الفتحة الثانية ويتداخل معه. فى الواقع طالما أننا نحصل على نمط تداخل موجى ، فإنه من المنطقى أن موجة ما تعبر من الفتحتين و تتداخل مع نفسها. و لكن أى موجة؟ لا يمكن أن تكون موجة الضوء - لقد أطلقنا فوتونا واحدا وهو لا يمكنه أن ينقسم ليعبر من الفتحتين.

لو أن الفوتون كان يسير باستمرار من الفتحتين (التصور القديم للضوء) لكان له أن يرتطم بعدة نقاط على الحائط فى نفس الوقت . و لكن بما أننا فى

تجربتنا مستخدمين اللوح الفوتوغرافى لاحظنا ارتطاما بنقطة واحدة فى الوقت الواحد فإنه يبدو أنه يوجد نوع أخر من الموجات يتدخل هنا. نوع يعبر من الفتحتين عندما يكون هناك فوتونا واحدا يعبر من فتحة واحدة.

أخيرا، ملاحظة أخيرة وهى : عندما تقيس من أى فتحة يعبر الفوتون فإن النتيجة تتغير. يمكنك أن تقيس بالعديد من الطرق و سيظل نمط التداخل مختفيا طالما أنك تحاول أن تقيس من أى فتحة يعبر الفوتون. "القياس يؤثر على النتيجة"

هذه النقطة مهمة و تخالف منطقنا العام عن العالم. فى الفيزياء الكلاسيكية من المفترض أن تحدث الأشياء بنفس الطريقة سواء نظرت لها أو لا. بالطبع يمكنك أن تعطل ما تقيسه لو استخدمت وسيلة غير مناسبة كاستخدام عصا لتحديد موقع كرة البينج بونج أثناء حركتها مثلا. ولكنك لو كنت معتنيا كفاية فبامكانك قياس الأشياء دون التأثير عليها كقياس سرعة السيارة بالرادار. فى تجربتنا فإنه لا يوجد طريقة نظيفة للقياس أولابعاد الشخص عن التجربة فمجرد حقيقة ارادتك لاجراء القياس فإن نمط التداخل يختفى.

**النظرية النهائية : تفسير كوبنهاجن**

اجلس الأن و استرخى قليلا. أين نحن؟ لقد ناقشنا نتائج 3 تجارب باطلاق فوتون تلو الأخر . فتحة واحدة ثم فتحتان ثم فتحتان مع وضع جهاز القياس. و لقد وضعنا بعض الملحوظات عنهم لنفهمهم جيدا . و الأن حان وقت وضع كل الأمور معا فى نظرية كاملة تشرح كل هذا.

تفسير كوبنهاجن الذى وضعه نيلز بور هو أفضل النظريات الموجودة. يوجد عدة تفسيرات أخرى كلها مشابهة تماما له من الناحية العلمية ولكن هو أفضلهم هنا للشرح.

لقد اتفقنا توا أنه يوجد نوع أخر من الموجات هنا. لا يمكننا أن نعرف بالضبط ما هى و لكن يمكننا عمل خطوة أخرى و هى اعطائها اسما. نسميها "دالة موجية" و نرمز لها بالحرف اللاتينى) "psi" ينطق ساى.

عندما تفتح مصدرك الضوئى فإن ما تطلقه هو موجة ساى (دالة موجية). إنها ليست عشوائية بل تسير بالضبط تبعا لقوانين حركة الموجات

حيث تسير فى كل الاتجاهات و تتداخل و كل هذا..إلخ. تبعا لتفسير كوبنهاجن فإن موجة ساى تحدد احتمال وجود الفوتون فى نقطة محددة. إذن ففى هذه المرحلة يبدو السؤال " أين الفوتون؟" لا جواب له. يوجد فقط موجة احتمالية له.

فى نظر الرياضيات يمكننا أن نعبر عن موجة ساى برسم مشابه لذلك الذى استخدمناه للضوء.و لكن لا بد أن تتذكر أن الرسم هنا له معنى مختلف عن رسم الضوء. فالارتفاع فى رسم الضوء كان يمثل شدة المجال الكهربى. فى موجة ساى فهو يمثل احتمال وجد الجسم فى نقطة ما .

حتى تقوم بالنظر لتعرف أين الفوتون، فالفوتون ليس موجودا فى مكان معين و لكنه موزع حسب موجته الاحتمالية فى المكان أى أن له احتمال وجود أكبر فى بعض النقاط عن الأخرى. إذن فالتداخل يعمل تماما كما تعودنا. فى التداخل البناء تجتمع مناطق الاحتمال العالى لتعطى منطقة ذات احتمال اعلى فى التداخل الهدام تلغى الموجات بعضها.

بعد ذلك ستأتى أنت لتقيس مكان الفوتون (عن طريق رؤية سقوطه على اللوحة السوداء)"لا يمكن أن تكون نتيجة القياس (ممكن هنا أو هناك)" القياس دائما يعطى نتيجة .إذن فالقياس يجبر الفوتون على الاختيار -

على اساس توزيع احتمالات وجوده- المكان الذى يتواجد به عند القياس. بالمعنى الفيزيائى فإن قياسك يؤثر على الدالة الموجية التى كانت منتشرة فى المكان لتتركز فى نقطة معينة (حيث سترى الفوتون)

إذن كيف تنطبق هذه النظرية على تجاربنا؟ أولا دعنا نلقى نظرى على تجربة الفتحتين . أنت تطلق فوتونا. موجة ساى تخرج من مصدر الضوء ثم تمر عبر الفتحتين ثم تسقط على اللوح الفوتوغرافى بنمط هو نفس نمط التداخل الموجى (لأنها موجة) فيما عدا أنه نمط توزيع احتمالات بدلا من نمط ضوئى . على اللوح (الحساس للفوتونات) يتم قياس الفوتون. على الفوتون اختيار أين يرتطم . بالطبع الكثير من الفوتونات تختار الأماكن ذات الاحتمالات العالية و القليل يختار أماكن الاحتمالات المنخفضة و لا فوتونات تختار اماكن الاحتمال الصفرى و لهذا السبب نرى نمط التداخل الضوئى.

عندما نضع أجهزة قياس فى الفتحات فنحن نؤثر على الدالة الموجية مبكرا . نجبر الفوتون على أن يختار من أى الفتحتين يعبر: تصبح الاحتمالات احتمالين ، أحدهما " سيعبر بالتأكيد" و الأخر " لن يعبر من هذه الفتحة بالتأكيد" و بهذا يصبح هناك شعاعا واحدا و لا يوجد تداخل.

خذ بعض الوقت لتفهم هذا . حاول أن تقتنع بأن نظرية كوبنهاجن تفسر تجاربنا . و لأن موجات ساى هى موجات مثل موجات الضوء فإنها تتبع مبدأ التكافؤ : " فى قياس الكميات الكبيرة فإن ميكانيك الكم والفيزياء الكلاسيكية يعطيان نفس النتائج."

تجربة أخرى:

الأن أنت تعلم الكثير عن الضوء . و لكن علينا أن نوفى بما وعدنا به فى البداية فى تعريف الكم " أقرب العلوم فى وصف الطبيعة". فماذا عن كل الأشياء التى ليست ضوء مثل الكرات و الالكترونات و أنت و أنا؟ هل تفيد الكم فى هذه الأشياء؟ الاجابة هذا سنقوم بتجربة أخرى جديدة . بالطبع هى تجربة الفتحتين و لكن بشئ جديد. بدلا من الضوء فسنستخدم مدفع الكترونات .وبدل الحائط سنضع جهاز يحسبالاكترونات و يعرف متى و أين ارتطم الالكترون. وسنطلقهم واحدا تلو الأخر كما فعلنا مع الضوء و الكرات . (بالطبع العلماء يستخدمون تجارب أخرى و لكن هذه سهلة وتفى بغرضنا هنا)

ماذا وجدنا؟ بالطبع أنت تعتقد أننا سنرى نمط الجسيمات المميز حيث قعة كبيرة من الالكترونات خلف كل فتحة بدون تداخل لأن الاكترونات مثل الكرات كلهم جسيمات. بعد عشرون عاما من فرضية أينشتين بامتلاك الضوء خصائص جسيمية، ظهر طالب فرنسى متخرج اسمه لويس دبرولى و أقر أن كل الجسيمات لها دالة موجية . لو أن هذا حقيقى فإن الدالة الموجية للالكترونات لا بد أن تتصرف كالدالة الموجية للضوء و نرى نمط التداخل.

يمكنك أن تخمن الأن أن هذا ما وجدناه فعلا .دبرولى حصل على الدكتوراه فى هذا الموضوع و بعد 5 أعوام حصل على جائزة نوبل لهذا الاكتشاف. وبالفعل تم اكتشاف أن كل الأشياء تفعل هذا التداخل. الالكترون، البروتون ، حتى الذرات كاملة . ولكن ما تم ملاحظته أنه كلما كبر حجم الجسيم اقتربت الأعمدة لبعضه البعض (أعمدة التداخل على الحائط) . هذا يعنى أن ملاحظة نمط التداخل مع الذرات أصعب من الالكترونات .ومع الكرات تقترب جدا لدرجة أنهم يظهرون كبقعة كبيرة (و لهذا سبب). هذا مرة أخرى يقودنا لمبدأ التكافؤ:قياس الأشياء الكبيرة سيعطى نتائج كلاسيكية.

فى الواقع الأعمدة فى الالكترونات و الذرات قريبة جدا أصلا بحيث أن ملاحظتها مستحيلة و لكن العلماء استخدموا تجارب أخرى كدليل على الخصائص الموجية للجسيمات لن نشرحها هنا لأنها تعطى نتائج موجية تماما كما فعلت تجربة الفتحتين.إذن، أين نحن الأن ؟

لدينا الأن نظرية تفسر نتيجة تجاربنا مثل تجربة الفتحتين مع الضوء و الالكترونات و الذرات و الكرات . فى الواقع تم اجراء آلاف التجارب منذ ظهور ميكانيك الكم و كلها أيدت صحة هذه النظرية . إنها تشرح كل شيئ . (التفاصيل المعقدة تم تعديلها قليلا بعد نظرية كوبنهاجن ولكن المبادئ الأساسية التى ذكرناها هنا ظلت كما هى)

و لكن النظرية بالطبع أدت إلى تساؤلات مدهشة:

ما هى هذه " الساى" على أية حال؟ ما معنى قول " موجات احتمالات" تسير فى المكان و تتداخل مع بعضها و فجأة تنكمش لنقطة مؤكدة؟

ما معنى كلمة " نقيسه" ؟ بالطبع فإن الفوتون يتفاعل مع العديد من الأشياء فى طريقه إلى الحائط ، و لكنه لا يعتبرهم "قياسات" وفى نفس الوقت فإن القياس لا يتطلب وجود شخص ، يمكنك أن تضع جهاز القياس على الفتحات فقط دون وجود أشخاص و مع ذلك سيختفى التداخل . فما هى الأشيء التى تعتبر قياسات و تؤثر فى الدالة الموجية؟

عندما تضع جهاز قياس فى فتحة واحدة ؟ فكيف تعرف الموجة التى تعبر فى الفتحة الأخرى أن عليها أن تختار و تنكمش؟

ألا يوجد تفسير أخر يفسر كل التجارب و لكنه يكون أكثر منطقية؟

الأسئلة الثلاث الأولى لا جواب لهم ، على الرغم من وجود بعض الأبحاث على السؤال الثانى. اجابة السؤال الرابع تبدو "لا" . ظهرت بعض التفسيرات الأخرى و لكنها خاطئة و غير منطقية أيضا . لذلك فلا يوجد طريقة تبدو لنا منطقية مما يأتى بنا إلى ...بعض الكلام عن المنطق والحس العام.

لا أحد فعلا يفهم هذا الكلام ولا مدرسك الفيزيائى و لا ستيفن هوكنج و لا نحن بالطبع . لا أحد يعلم ما هى ساى.

ولكن لا بد أن تعود نفسك عليها ، اخترع مواقف و تجارب نظرية وانظر ماذا تفعل الكم فيها.

هذا مثال وضعه أحد علماء الكم " اروين شرودنجر". تخيل أننا أقمنا تجربة باستخدام جسيم معين صغير كفاية لينطبق عليه نتائج الكم . هذا الجسيم لديه احتمال 50% أن يتحلل بعد ساعة. الجسيم فى صندوق و أنت لا تنظر إليه. بعد ساعة ما هو الحال؟؟ كلاسيكيا ستقول أن الجسيم اما تحلل أو لا و انك ستعرف عندما تنظر. كميا ستقول أن الجسيم فى حالة غير محددة . دالته الموجية تقول ربما موجود و ربما تحلل و انها لن تقرر الحال إلا عندما تنظر أنت. الجملتان تبدوان متشباهتان و لكنهما مختلفتان. لنوضح

الفرق سنضع قطة مع الجسيم مع جهاز سيقتل القطة اذا تحلل الجسيم . الأن هل القطة فى حالة "ربما ميتة و ربما حية" حتى تنظر أنت؟

ربما ترى أنه كلام لا معنى له ، ربما تقول: قول " القطة نصف حية نصف ميتة حتى نقيس ذلك" هو أسلوب أخر لقول " القطة إما حية وإما ميتة و لكننا لن نعرف حتى ننظر". و لكن تذكر كلامنا عن الساى. الكم تقول أن الجملتان مختلفتان و أن الجملة المنطقية " القطة إما حية أو ميت

**ولن نعرف حتى ننظر" خاطئة . فالفوتون ليس موجودا فى مكان ما حتى نقوم بقياسه . وكذلك القطة ليست ميتة أو حية حتى ننظر (الساى ستقرر عندما تقاس فقط)**

**يبدو أنه كلام غير منطقى أليس كذلك ؟ و لكن بعض العلماء يقولون أنه "لماذا عليها أن تكون منطقية" البشر نشأوا فى عالم معين يرون أجسام طبيعية و قد استخرجوا منطقهم من العالم الذى يعيشون فيه . و لكن هذا المنطق حتما ليس عليه أن ينطبق فى الأماكن التى لم يعيشوا فيها. ميكانيك الكم تعطى نتائج مذهلة فقط عند تطبيقها على المقاسات الصغيرة جدا التى لا نراها أصلا و لهذا تبدو غير منطقية.**

# الفصل الخامس
# أنواع التفاعلات النووية Types of Nuclear Reactions

**يمكن تقسيم التفاعلات النووية الى أربعة أقسام وهي:**

**التحلل النووي التلقائي. Radioactive decomposition**

**التفاعل النووي غير التلقائي. Nuclear disintegration**

**الانشطار النووي. Nuclear fission**

**الاندماج النووي. Nuclear fusion**

## التحلل النووي التلقائي

**تتحلل أنوية العناصر الثقيلة غير المستقرة تلقائياً إلى أنوية أخف وأكثر استقراراً ، ويصدر عنها دقائق ألفا أو بيتا أو أشعة جاما.**

**أمثلة :**

**تحول نظير اليورانيوم تلقائياًإلى نظير الثوريوم وانطلاق دقيقة ألفا:**

$${}_{92}U^{238} \longrightarrow {}_{90}Th^{234} + {}_{2}He^{4}$$

تحول نظير الثوريوم تلقائياً إلى نظير البروتاكتينيوم وانطلاقدقيقة بيتا :

$${}_{90}Th^{234} \longrightarrow {}_{91}Pa^{234} + {}_{-1}e^{0}$$

التفاعل النووي غيرالتلقائي :

في هذا النوع من التفاعلات تستخدم الجسيمات النووية كقذائف تسلط على أنوية ذرات غير مستقرة فتحولها الى أنوية أكثر استقراراً مطلقة بروتون أو نيوترون.

ومن أمثلة هذا النوع من التفاعلات قذف ذرات البريليوم بجسيمات الفاوينتج بفعل ذلك عنصر الكربون.

$${}_{4}Be^{9} + {}_{2}He^{4} \longrightarrow {}_{6}C^{12} + {}_{0}n^{1}$$

وقد تمكن العلماء من استخدام هذا النوع من التفاعلات النوويةلتحضير عناصر ثقيلة من عناصر أخف منها.

ومن الأمثلة على ذلك تحويلالألومنيوم إلى نظير الفسفور.

$${}_{13}Al^{27} + {}_{2}He^{4} \longrightarrow {}_{15}P^{30} + {}_{0}n^{1}$$

الانشطار النووي :

نظراً لكون النيوترونات أجسام غيرمشحونة فهي ذات قدرة عالية على اختراق أنوية العناصر موجبة الشحنة ، ولهذا السببفهي تستخدم كقذائف يمكن أن تصل إلى النواة بسهولة فتندمج معها أو تشطرها.

وقد قام العلماء بتسليط النيوترونات على ذرات عنصر اليورانيوم( يورانيوم - 235 ) واكتشفوا أن ذرة اليورانيوم تنشطر إلى جزأين ، وينتج عن ذلك أيضاً ثلاثة نيوتروناتوكمية هائلة من الطاقة.

$${}_{92}U^{235} + {}_{0}n^{1} \longrightarrow {}_{56}Ba^{139} + {}_{36}Kr^{94} + 3\,{}_{0}n^{1}$$

طاقة +
ذرات غير مستقرة
نظير اليورانيوم - ٢٣٥

الاندماج النووي :

يشتمل هذا التفاعل على اندماج نواتين خفيفتين لانتاج نواة أكبر.

ومثال ذلك اندماج ذرات نظائر الهيدروجين لاعطاء ذرات هيليوم وكمية هائلة من الطاقة.

$$_{1}H^{2} + _{1}H^{3} \longrightarrow _{2}He^{4} + _{0}n^{1}$$

ورغم اعطاء هذا التفاعل كمية هائلة من الطاقة ، إلا أنه لا يبدأ إلااذا زود بطاقة عالية للتغلب على التنافر الشديد بين أنوية الذرات التي ستندمج ، ومثل هذه الطاقة لا يتم توفيرها الا من خلال تفاعل انشطار نووي.

ويعتقدأن هذا التفاعل هو المسؤول عن الطاقة المنبعثه من الشمس.

أنواع التفاعلات النوويةTypesofNuclearReactions

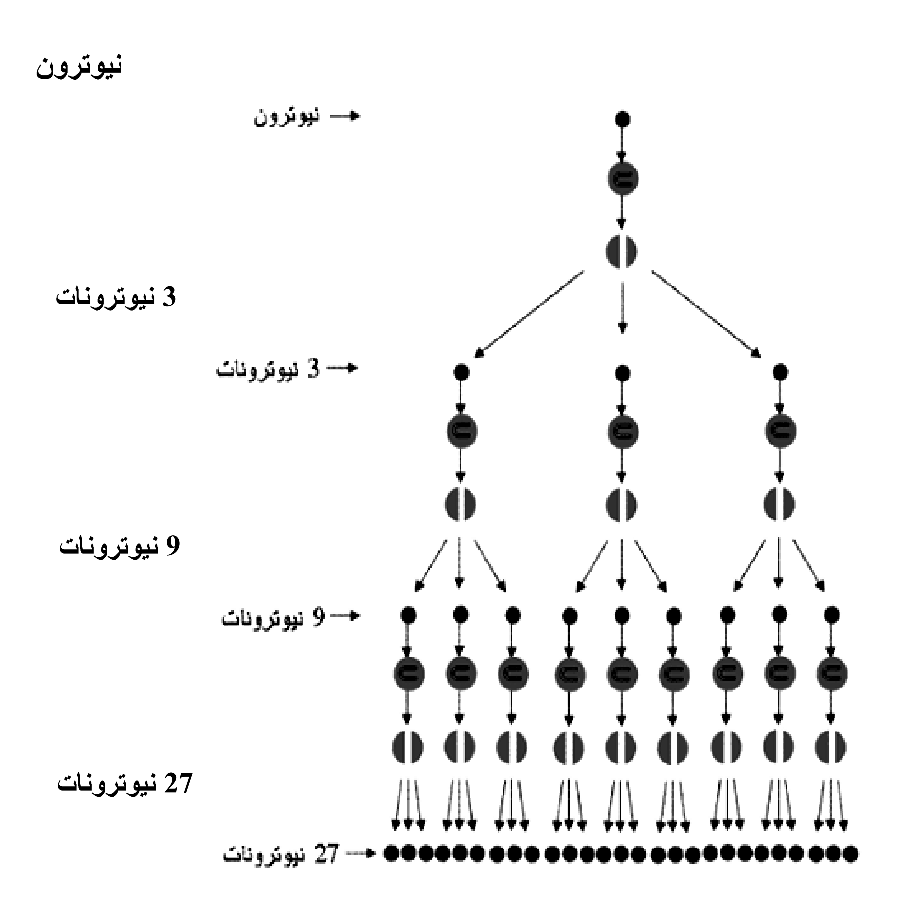
التفاعل النووي المتسلسلChain reaction

التفاعل النووي المتسلسل هو تفاعل انشطار نووي ينتج عنه عدد من النيوترونات لها القدرة على تكرارالتفاعل.

**يتطلب التفاعل النووي المتسلسل نيوترون واحد لبدء تفاعل انشطارأنوية اليورانيوم (235) فينشأ عن هذا التفاعل نواتي عنصرين جديدين ، وينتج أيضاً ثلاثة نيوترونات أو نيوترونين وكمية هائلة من الطاقة**

$$_{92}U^{235} + {_0}n^1 \longrightarrow {_{56}}Ba^1 + {_{36}}Kr^{94} + 3\,{_0}n^1$$

**وكل نيوترون له القدرة على أن يكرر التفاعل السابق مع ذرة يورانيوم أخرى بشكل متسلسل والذي يؤدي إلى أعداد هائلة من الانشطارات، إلى أن تنشطر جميع أنوية اليورانيوم أو أن تفقد النيوترونات القدرة على شطر أنوية اليورانيوم.**
**استرعى هذا التفاعل اهتمام العسكريين وتمكنوا من خلاله من صنع القنبلة النووية ، كما أن هذا التفاعل يستخدم للحصول على الطاقة الكهربائية في المحطات الكهرنووية.**



نيوترون
نيوترون
3 نيوترونات
3 نيوترونات
9 نيوترونات
9 نيوترونات
27 نيوترونات
27 نيوترونات

**الانشطار النووى:**

**كان العالم فيرمي (Enrico Fermi ) في العام 1934 يقوم ببعض التجارب للحصول على نظائر العناصر عن طريق قذف النوى بالنيوترونات. وعندما وصل إلى عنصر اليورانيوم ( العنصر الأخير في الجدول الدوري في ذلك الوقت.   توقع أن قذف العنصر بالنيوترونات سيؤدي إلى وجود نواة غير متسقرة تقوم بإطلاق جسيمات بيتا وبالتالي ازدياد العدد الذري من 92 إلى 93 وانتاج عنصر جديد في الجدول الدوري ، ولكنه لم يحصل على ما توقعه ولم يستطع التعّرف علىنواتج التفاعل.**

**واستمرت الأبحاث والدراسات من العام 1935 إلى العام 1938حيث قامعالم كيميائيألماني يسمى إدا نوداك(Ida Noddack) بالتعرف على نواتج التفاعل وأوضح أن نواة اليورانيوم انشطرت إلى نواتين متوسطتي الكتلة .وقد أكدت الدراسات صحة ما افترضه هذا العالم . وبذلك يكون الإنشطار النووي ": انقسام نواة ثقيلة إلى نواتين متوسطتي الكتلة ، وانتاج كميات هائلةمن الطاقة نتيجة تفاعل نووي"**

**ولإحداث الإنشطار تقذف النواة الثقيلة مثل يوارانيوم ـ 235 بجسيمات خفيفة نسبياً مثل النيوترونات التيتعد أفضل القذائف لأنها لا تحمل شحنة.**

235
U
92

**ويمكن تمثيل الإنشطار النووي لليورانيوم بصورة عامة بالمعادلة والشكل:**

$$ {}_{0}^{1}n + {}_{92}^{235}U \longrightarrow y + Y + {}_{0}^{1}n + \text{طاقة} $$

**ولا ينتج دائماً نفس نواتج التفاعل إلا أن العدد الذري للأنوية Y , y يتراوح بين 36 و 60 ومن الإنشطارات الشائعة الحدوث:**

$$ {}_{0}^{1}n + {}_{92}^{235}U \longrightarrow {}_{56}^{141}Ba + {}_{36}^{92}Kr + 3\,{}_{0}^{1}n + \text{طاقة} $$

$$ {}_{0}^{1}n + {}_{92}^{235}U \longrightarrow {}_{56}^{144}Ba + {}_{36}^{89}Kr + 3\,{}_{0}^{1}n + \text{طاقة} $$

$$ {}_{0}^{1}n + {}_{92}^{235}U \longrightarrow {}_{54}^{140}Xe + {}_{38}^{94}Sr + 2\,{}_{0}^{1}n + \text{طاقة} $$

$$ {}_{0}^{1}n + {}_{92}^{235}U \longrightarrow {}_{50}^{132}Sn + {}_{42}^{101}Mo + 3\,{}_{0}^{1}n + \text{طاقة} $$

**وفي التفاعلات السابقة فإن مجموع كتل المواد الناتجة من التفاعل أقل من مجموع كتل المواد الداخلة في التفاعل مما يؤكد أن هذا التفاعل منتج للطاقة.**

**مثال(1):**

**حدد كمية الطاقة الناتجة فيالتفاعل:**

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \longrightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 3\,^{1}_{0}n + \text{طاقة}$$

**الحل:**

**كتل المواد الداخلة في التفاعل:**

**ك النيوترون = 1.008665 و.ك.ذ**

**ك اليورواينوم 235.043933 = و.ك.ذ**

**ك النيوترون + ك اليورانيوم=236.052598 و.ك.ذ**

**كتل المواد الناتجة من التفاعل=**

**× 3ك النيوترون = 3.025995 و.ك.ذ**

**ك الباريوم = 140.913740 و.ك.ذ**

**ك الكربتون = 91.925765 و.ك.ذ**

**× 3=ك النيوترون + ك الباريوم + ك الكربتون**

**235.865500 و.ك.ذ**

**Δك = الفرق بين مجموع الكتل الداخلة والناتجة=**

**236.052598ـ 235.865500= 0.187098 و.ك.ذ**

**الطاقة الناتجة = 0.187098 × 931 = 174 مليون الكترونفولت وهذا هو مقدارالطاقة الناتجة من انشطار نواة واحدة من اليورانيوم وهو مقدار هائل وتصل الطاقة الناتجة إلى 200 مليون الكترون فولت.**

**وذلك لأن النوى الناتجة هي نوى مشعة تقوم بإطلاق طاقة تصل إلى 20 مليون الكترون فولت للوصول إلى مرحلة الإستقرار ولتفسير ما يحدث أثناء عمليةانشطار النواة**

**افترض العالم انبور وويلر (Neils Bohr & John Wheeler) نموذج " قطرة السائل" والموضح في الشكل أدناه:**

**ويفترض هذا النموذج تماثلاً بين النواة وبين قطرة سائل مشحونة ، حيث تقوم نواة اليورانيوم باصطياد النيوترون وتصبح نواة مستثارة تهتز بعنف مما يؤدي إلى حدوث تغير في شكلها ،( وفي هذا الشكل الجديد كما هو موضح ) فإن القوى النووية تصبح أضعف مما هي عليه أصلاً ويبدأ تأثير قوى التنافر الكهربائية حيث تنقسم النواة إلى قسمين وينتج المزيد من النيوترونات والطاقة الهائلة.**

**والنيوترونات المسببة للإنشطارهينيوترونات بطيئة وهيتمتلك أكبر احتمال للإصطدام بالنواة وإحداث التفاعل.**

**التفاعل المتسلسل: Chain Reaction**

لعلك لاحظت أن انشطارنواة اليورانيوم ـ 235 ينتج مجموعة من النيوترونات ( اثنين أو ثلاثة ) ، وأن ما سبب انشطار النواة هونيوترونات بطيئة . وبذلك يمكن وتحت شروط معينة أن تتسبب النيوترونات الناتجة من التفاعل في مزيد من الإنشطارات المتتالية والتي تنتج قدراً هائلاً من الطاقة. وهذا ما يعرفب التفاعل المتسلسل.

وفي الأسلحة النووية يتم إحداث تفاعل متسلسل غير متحكم فيه ,مما ينتج طاقة هائلة ومدمرة وتؤدي إلى حدوث أضرار عديدة ، أما إذا تم التحكم في عدد النيوترونات المشاركة في التفاعل فإنه يكون بالإمكان التحكم في الطاقة الناتجة والسيطرة عليها واستغلالها في العديد من الأغراض ، وهذا ما يحدث فعلاً في المفاعل النووي.

ومن المشاكل التي تعترض التفاعل المتسلسل:

إذاكانت كتلة العنصر المستخدم في التفاعل أقل من كتلة معينة تسمى "الكتلة الحرجة"فإن كثير من النيوترونات ستفلت دون التفاعل مع أنوية جديدة

النيوترونات الناتجة عن الإنشطار هي نيوترونات متوسطة السرعة، ولذا يلزم تقليل سرعتها حتى تستطيع القيام بعمليات انشطار جديدة .

يحتوي اليورانيوم الطبيعي على 99.3 % من (والذي يمتص النيوترونات المتوسطة السرعة دون حدوث انشطار ( وعلى 0.7% من اللازم لعملية الإنشطار وللحصول على تفاعل متسلسل في انفجار نووي يلزم زيادة تركيز إلى 50% في حين يلزم تركيزه إلى 3.6 % في المفاعلات النووية.

$^{238}_{92}U$ $^{235}_{92}U$ $^{238}_{92}U$

القنبلة النووية: Atomic Bomb

لبناء قنبلة ذرية يلزم أن تكون كتلة اليوراينوم ـ 235 مساوية للكتلة الحرجة اللازمة لبدءالتفاعل المتسلسل . وقد قامت الولايات المتحدة الامريكية ببناء أول قنبلة ذرية انظرالشكل والتي أطلق عليها "الرجل النحيف" "Thin man " وأسقطت على هيروشيما في 5 آب (أغسطس ) 1945 وهذا النوع من القنابل يتكون منقطعتين من اليورانيوم ، كل منهما كتلته أقل من الكتلة الحرجة ، وتُطلق أحداهما (الصغرى ) على شكل قذيفة توجه نحو الكبرى وتنتج الكتلة الحرجة اللازمة لبدء التفاعل المتسلسل الذي يقود إلى الإنفجار العنيف.

ومن الصعوبات التي تواجه صناعة مثل هذه القنبلة ، استخلاص اليورانيوم من ولذلك تمت ، $^{235}_{92}U$ نوع آ $^{238}_{92}U$ القنابل ، باستخدام حيث يتم في المرحلة الأولى بقذف اليورا 238 بنيوترونات حسب المعادلة التالية:

$^{238}_{92}U$

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{239}_{93}Np + ^{0}_{-1}e + \bar{\upsilon}$$

239 239
Pu NP
حيث ينتج النبتونيوم) 93يتحلل إلى بلوتونيوم حسب الم 94تالية:

$$^{239}_{93}Np \longrightarrow ^{239}_{94}Pu + ^{0}_{-1}e + \bar{\upsilon}$$

ولقداتضّح أن قابلية بلوتونيوم 239للإنشطار أكبر من قابلية اليورانيوم235 ولذلك فإنه يلزم كتلة أصغر للوصول إلى الكتلة الحرجة ، ولذلك قام العلماء بتصميم نوع آخر من القنابل الذرية ( قنبلة البلوتونيوم ) وتكون هذه القنبلة على شكل قطعة كروية صغيرة من البلوتونيوم توضع في مركز كرة ، وتحاط بقطع من البلوتونيوم موضوعة على بعد ثابت من الكرة بحيث تكون سطح كرة أكبر، وكتلة كل منها أقل من الكتلة الحرجة. ولإحداث الإنفجار تجري تفاعلات كيميائية تقوم بإطلاق قطع البلوتونيوم كلها في آن واحد نحو مركز الكرة ، مما يؤدي إلى التحام قطع البلوتونيوم

**وتكوّن الكتلة الحرجة ويبدأ التفاعل المتسلسل , وقد أطلقت أول قنبلة بلوتونيوم على مدينة ناجازاكي في اليابانوسميت "الولد السمين"**

**" Fat Boy "في 9 آب ( أغسطس ) 1945.**

**المفاعل النووي الإنشطاري:**

**قام فيرمي ببناء أول مفاعل نووي إنشطاري في جامعة شيكاغو ، وبدأ العمل فيه في 2 كانون أول ( ديسيمبر ) 1942 ، وكانت هذه أول مرة يتم فيها إحداث تفاعل نووي مُسيطر عليه ، ويوضح الشكل التالي المفاعل النووي.**

**يحتوي المفاعل النووي على يورانيوم ـ 238مضاف إليه 3.6 % من اليورانيوم ـ 235ويتم إحداث التفاعل التالي:**

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \longrightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 3\,^{1}_{0}n + \text{طاقة}$$

**وتكون النيوترونات الناتجة عن هذا التفاعل سريعة لأنها تمتلك طاقةحركية كبيرة , ولذلك يوضع المفاعل في حوض بهماء تحت ضغط مرتفع . حيث يعمل الماء على إبطاء النيوترونات وتقليل سرعتها حتى تستطيع البدء بانشطار جديد ولكي يحدث التفاعل المتسلسل.**

ولكن لا يُسمح لهذا التفاعل بأن يستمر بعشوائية كما في القنبلة الذرية، لذلك يتم السيطرة عليه باستعمال ألواح من الكادميوم ، حيث تعمل هذه الالواح على امتصاص النيوترونات وبذلك يقل عدد النيوترونات المسببة للإنشطار ويتم السيطرة على التفاعل . ويوجد وظيفة أخرى للماء حيث تعمل على التبريد نتيجة للحرارة العالية الناتجة عن التفاعل.

ومن مساوئ استخدام هذا المفاعل ، المخلفات النووية الناتجة عن التفاعل حيث ينتج نظائر عديدة مشعة يجب التخلص منها ، والطريقة المتبعة
حالياً هي دفن هذه المخلفات في قاع مناجم الملح والتي تكون جافة وتبعد عن سطح الأرض مسافة تقدر بآلاف الأقدام حيث يمكن أن تبقى هناك ولا تتسبب في تلويث البيئة.

الإندماج النووي:

علمت أن بعض الأنوية الثقيلة مثل تنشطر إلى نواتين متوسطتين إذا قذفت بنيوترون بطيء ، وعلمت أن مثل هذا التفاعل

$^{235}_{92}U$

يسمى "الإنشطار النووي " وعكس هذا التفاعل أي "دمج نواتين خفيفتين معاً لتكوين نواة أثقل يسمى الإندماج النووي " وتنطلق طاقة هائلة مصدرها نقص كتلة النواة الناتجة عن مجموع كتلتي النواتين المندمجتين معاً.

ومن الأمثلة على الإندماج النووي إندماج نواتي الديتريوم(هيدروجين ـ 2) لتكوين الهيليومكما في المعادلة التالية:

$$^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \longrightarrow ^{3}_{2}He + ^{1}_{0}n + \text{طاقة}$$

ولحساب الطاقة الناتجة عن هذا التفاعل:

مجموع كتل الأنوية الداخلة في التفاعل = 2 كديتريوم= 2.013 × 2

=4.026 و.ك.ذ

مجموع كتلة الأنوية الخارجة عن التفاعل = ك هيليوم + ك النيوترون + 3.015 = 1.009

= 4.024و.ك.ذ

النقص في الكتلة = ك = 4.026 ـ 4.024 = 0.002 و.ك.ذ

الطاقة الناتجة عن التفاعل = 0.002 × 931 = 1.862 مليون الكترونفولت.

وبالرغم منأن الطاقة الناتجة (1.862 مليون الكترون فولت) لا تساوي أكثر من 10% من الطاقةالناتجة من الإنشطار النووي (200 مليون الكترون فولت ) إلا أننا يجب أن نتذكر هناأن كتلة نواة اليورانيوم تساوي تقريباً 235 و.ك .ذ

**في حين أن كتلة نواة الديتريوم 2 = و.ك.ذ ولذلك فإن الطاقة الناتجة لكل كيلوغرام من الوقود النووي الإندماجي أكبر كثيراً من الطاقة الناتجة لكل كيلوغرام من الوقود النووي الإنشطاري، كما أن الإندماج النووي لا يتطلب وجودالكتلة الحرجة اللازمة للإنشطار النووي.**

**وقد يبدو للوهلة الأولى أن الإندماج النووي أسهل كثيراً من الإنشطار النووي، لأن الديتريوم موجود في الطبيعة ويمكن الحصول عليه بكميات وافرة بثمن رخيص ، إلا أن الحال ليس كذلك بسبب زيادة قوة التنافر الكهربائيةعنداقتراب النواتين من بعضهما البعض ولهذا السبب فإنه من أجل إحداث اندماج نووي لا بدمن توفير الظروف التالية:**

**حصر الأنوية الخفيفة في حيز صغير جداً لزيادة إمكان تصادمهما والتحامهما معاً .**

**زيادة الضغط الواقع على الأنوية الخفيفة زيادة كبيرة.**

**رفع درجةحرارة الأنوية الخفيفة إلى رتبة (710) درجة سيلسيوس ، وذلك لاكسابها طاقة حركية عالية.**

وبسبب صعوبة توفير كل هذه الظروف ، ولأنه لا يوجد إناء يمكن أن يحويمادة درجة حراراتها عالية ومضغوطة بهذا الشكل، لذلك كان من الصعب تحقيق الإندماجات النووية في المختبرات العلمية.

ومن مزايا المفاعل النووي الإندماجي:

سهولة الحصول على الوقود النووي حيث أنه يمكنمثلاً استخلاص الديتريوم من مياه البحر.

النفايات الناتجة ( الهيليوم ) أنوية غير مشعة.

من السهل إيقاف التفاعل.

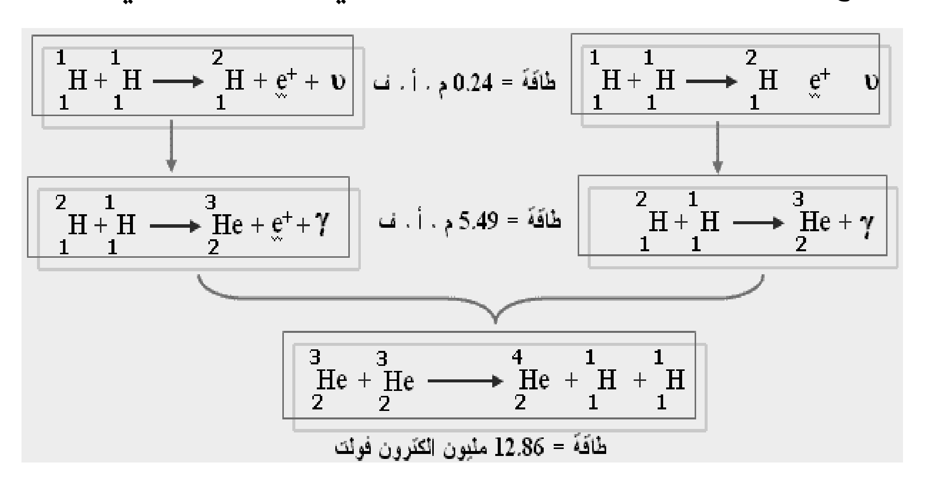
وقد توصل العلماء إلى إحداث اندماج نووي محدود في القنبلة الهيدروجينية والموضحة في الشكل التي وقودها الهيدروجين الثقيل الديتريوم والتي تتكون من غلاف قوي جداً في داخله قنبلة نووية انشطارية ، توفر درجة الحراراة العالية اللازمة لتزويد أنوية الهيدروجين بالطاقة الحركية، ولتفجير القنبلة الهيدروجينية يتم أولاً تفجير القنبلة النووية الإنشطارية فترتفع درجة حرارة الديتريوم ارتفاعاً هائلاً مما يمكن نُواه من الإندماج وتوليد طاقة حرارية هائلة.

**وقد أجرت الولايات المتحدة الأمريكية، أول تجربة للقنبلة الهيدروجينية في أيار عام 1951 في المحيط الهادي ، وفي تشرين الثاني من العام نفسه . اجرت التجربة الثانية باستخدام قنبلة من عيار 7 ميغا طن ، وكان نتيجة هذه التجربة اختفاء جزيرة من البحر اختفاء تاماً.**

**الطاقة الشمسية : Solar Energy :**

**يفسر العلماء طاقة النجوم بحدوث تفاعلات اندماج نووي في باطنها ، فنظراً لارتفاع درجة حرارة باطن النجم والتي قد تصل إلى 15 مليون كلفن كمافي الشمس وكذلك كبر الضغط ، جعل العالم بيثيه Bethe يفترض أن مصدر الطاقة الشمسية هو الإندماج النووي الذي يحدث بين أنوية الهيدروجين لتكوين أنوية الهيليوم ، وأثناء ذلك تنتج الطاقة الشمسية الهائلة.**

واقترح بيثيه دورة تسمى دورة البروتون ـ البروتون في الشمس موضحة في جدول.




تبدأ هذه الدورة بتصادم بروتونين ( $^1_1H + ^1_1H$ ) لتكوين ديوترون $^2_1H$

وينتجبوزيترون (e+) ونيوترينو(□) وعندما يتكون الديوترون فإنه يصطدم

$^3_2He$ ببروتون آخر خلال ثواني ويكوّن نواة الهيليوم () ثم تتصادم نواتي الهيليوم

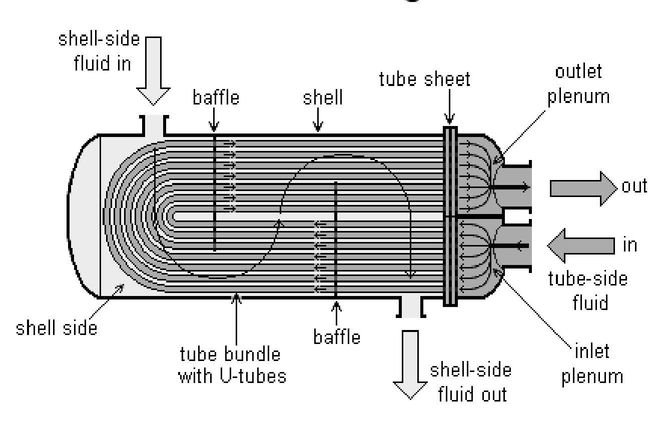
() $^3_2He$ الناتجتين من تفاعلين مستقلين ،وتكوّن () المستقر وبروتونين $^4_2He$ .

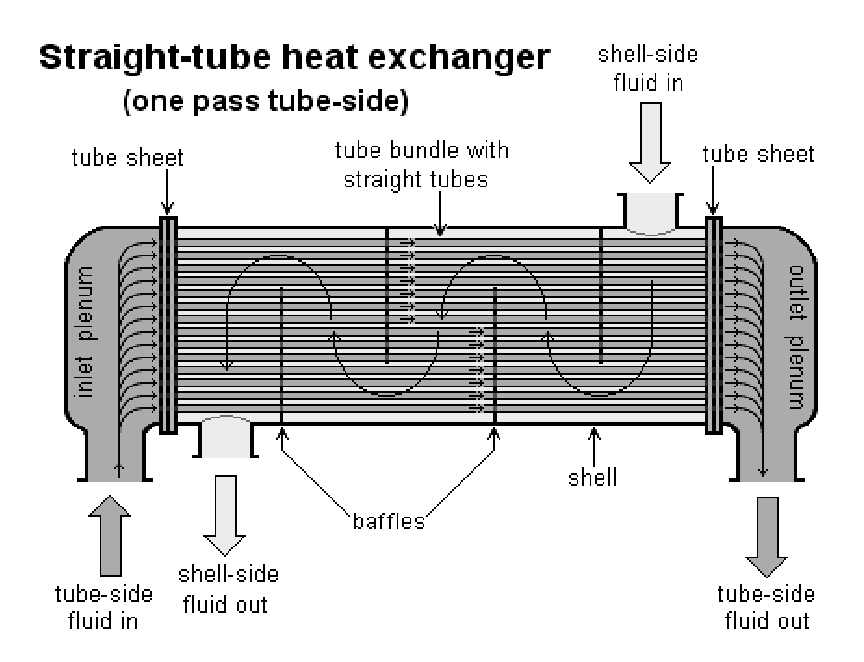
**وبنظرة شاملة لما يحدث في دورة البروتون ـ البروتون ، فإن ما يحدث فعلياً هو اندماج 4 بروتونات لتكوين نواة هيليوم و بوزيترونين وبانتاج كمية من الطاقة (ط) ويمكن حسابها:**

**ط = [ 4 ك البروتون ـ ك الهيليوم ـ 2 ك الكترون ] س2**

**حيث س : سرعة الضوء ثم لننظرما يحدث للبوزيترونين الناتجين ، إن ما يحدث فعلياً هو إفناء الكترونين مع البوزيترونين وتحويل الكتل إلى أشعة جاما طَ( طَ = 4 ك الكترون × س2) وبذلك تكون الطاقةالناتجة من الدورة =(4 ك بروتون + ك الكترون ) س2 ـ ( ك الهيليوم + 2 ك الكترون ) س2 =4 ك البروتون ـ ك الهيليوم.**

**وبذلك تكون الطاقة الناتجة = ] (4.00260 ) ـ (4(1.00873 ] (931)**


U-tube heat exchanger
shell-side
fluid in
baffle
shell
tube sheet
outlet
plenum
out
in
tube-side
fluid
shell side
tube bundle
with U-tubes
baffle
shell-side
fluid out
inlet
plenum


Straight-tube heat exchanger
(one pass tube-side)
shell-side
fluid in
tube sheet
tube bundle with
straight tubes
tube sheet
inlet plenum
outlet plenum
shell
baffles
tube-side
fluid in
shell-side
fluid out
tube-side
fluid out

# الفصل السادس
# تفسير النظرية النسبية

**البرت آينشتاين والنظرية النسبية**

**من هو البرت اينشتاين ولماذا ذاع صيته في أرجاء الأرض؟**

**البرت اينشتاين عالم فيزيائي قضى حياته في محاولة لفهم قوانين الكون. كان اينشتاين يسأل الكثير من الأسئلة المتعلقة بالكون ويقوم بعمل التجارب داخل عقله. فقد عاش اينشتاين عبقريا بإجماع كافة علماء عصره وبلغ أسمى درجات المجد العلمية بخلاف العديد من العلماء الذين ماتوا دون أن يحظوا بمتعة النجاح والتألق فمثلاً العالم ماندل الذي وضع قوانين الوراثة لم يعرف احد أنه هو الذي وضع هذه القوانين إلا بعد وفاته بخمسين عام، كذلك العالم والطبيب العربي ابن النفيس الذي اكتشف الدورة الدموية في جسم الإنسان لا يزال مجهولا حتى الآن وغيره من الأمثلة.. كانت عبقرية اينشتاين من نوع مختلف فلم يكن احد يفهم شيء عن نظريته النسبية أو تطبيقاتها ولكن الجميع اقر بمنطقها. فقد جاءت النظرية النسبية الخاصة لتحير العلماء وتغير مفاهيم الفيزياء المعروفة. ويروي أن آينشتاين كان يقف في أحد شوارع هوليود مع شارلي تشابلن**

فتجمع حوليهما المارة، فقال آينشتاين لتشابلن ((لقد تجمع الناس لينظروا إلى عبقري يفهمونه تمام الفهم وهو أنت، وعبقري لا يفهمون من أمره شيئاً وهو أنا)).. العديد من العلماء بلغوا مراتب علمية عالية نتيجة لمجهودهم الفكري أو الفني فمثلاً اديسون وبيكاسو وأبن سينا والمتنبي

اجمع الناس على تفوقهم وعبقريتهم لأنهم لمسوا ورأوا قيمة ما يقدمون من اكتشافات واختراعات. وهذا لم يحدث مع آينشتاين حيث كانت عبقريته من نوع مختلف فما هو الذي قدمه آينشتاين؟ وعن ماذا كانت عبقريته؟ وما قيمة ما قدمه؟ وعن أي شيء تتحدث. كل ما هو معروف أنه وضع النظرية النسبية. فإذا ما حاول المرء قراءة النظرية النسبية إلا وجد نفسه غارقاً في بحر من الألغاز لدرجة انه شاع القول بأن هناك عشرة في العالم يفهمون النظرية النسبية وهذا غير صحيح..

حياة آينشتاين :

ولد ألبرت آينشتاين في 14 مارس 1879 في ألمانيا في مدينة صغيرة تسمى أولم وبعد عام انتقلت أسرته إلى ميونخ. كان والده هرمان صاحب مصنع كهروكيميائي. وكانت والدته بولين كوخ من عشاق الموسيقى وكان له أخت تصغره بعام. تأخر آينشتاين عن النطق وكان يحب الصمت والتفكير والتأمل ولم يهوى اللعب كأقرانه. لم يكن يعجبه نظام المدرسة وطريقة التعليم فيها التي تحصر الطالب في نطاق ضيق ولا تدع له مجالاً للإبداع وإظهار إمكانياته.

أهدى له والده بوصلة صغيرة في عيد ميلاده العاشر وكان لها الأثر البالغ في نفسه وبإبرتها المغناطيسية التي تشير دائما إلى الشمال والجنوب واستخلص هذا الطفل بعد تأمل عميق أن الفضاء ليس خالياً ولا بد وأن فيه ما يحرك الأجسام ويجعلها تدور في نسق معين. تعلق آينشتاين في شبابه بعلم الطبيعة والرياضيات وبرع فيهما في البيت وليس في المدرسة ووجد متعة في

علم الهندسة وحل مسائلها. تعلم الموسيقى وهو في السادسة من عمره وكان يعزف على آلة الكمان. كانت اكبر مشكلة له اضطراره لدراسة اللغات والعلوم الإنسانية التي لا تطلق للفكر العنان وإنما حفظها للحصول على الشهادة وكان كثيرا ما يحرج أساتذة الرياضيات لتفوقه عليهم وطرده احد الأساتذة من المدرسة قائلاً له ((أن وجودك في المدرسة يهدم احترام التلاميذ لي)) سافر بعدها ليلتحق بوالديه في ميلانو بعد أن تركوه لمشاكل مادية في ميونخ والتحق هناك في معهد بولوتيكنيك ولكنه رسب في جميع امتحانات الالتحاق فيما عدا الرياضيات فأرشده مدير المعهد ليدرس دبلوم في إحدى مدن سويسرا ليتمكن بعد عام من الالتحاق في البوليتكنيك.
في عام 1901 بلغ اينشتاين من العمر 21 عاماً

وبعد عناء طويل للحصول على عمل يعيش منه حصل على وظيفة في مكتب تسجيل براءات الاختراع في برن. قرأ الكثير عن أعمال العلماء والفلاسفة ولم تعجبه كتاباتهم حيث وصفها بالسطحية والبعد عن العمق الفكري الذي يبحث عنه.

في العام 1905 وضع آينشتاين خلال عمله في مكتب تسجيل الاختراعات العديد من النظريات التي جعلت من العام 1905 عاماً ثورياً في تاريخ العالم. واسترعت نتائج نظرياته اهتمام علماء الفيزياء في كافة جامعات سويسرا مما طالبوا بتغير وظيفته من كاتب إلى أستاذ في الجامعة وفي عام 1909 عين رئيسا للفيزياء النظرية في جامعة زيوريخ ثم انتقل إلى جامعة براغ الألمانية في 1910 ليشغل نفس المنصب ولكنه اضطر لمغادرتها في العام 1912 بسبب رفض زوجته مغادرة زيوريخ.....

من أعمال اينشتاين:

في عام 1905 نشر اينشتاين أربعة أبحاث علمية الأولى في تفسير الظاهرة الكهروضوئية والبحث الثاني للحركة الابروانية للجزيءات والثالثة لطبيعة المكان والزمان والرابعة لديناميكا حركة الأجسام الفردية.

**كان البحثين الأخيرين الأساس للنظرية النسبية الخاصة والتي نتج عنها معادلة الطاقة E=mc2وبتحويل كتلة متناهية في الصغر أمكن الحصول على طاقة هائلة (الطاقة النووية)..**

**في العام 1921 حصل آينشتاين على جائزة نوبل لأكشتافه قانون الظاهرة الكهروضوئية التي حيرت هذه الظاهرة علماء عصره.**

**وضع اينشتاين الأسس العلمية للعديد من المجالات الحديثة في الفيزياء هي:**

**النظرية النسيبة الخاصة**

**النظرية النسبية العامة**

**ميكانيكا الكم**

**نظرية المجال الموحد**

**وحتى يومنا هذا يقف العلماء عاجزين عن تخيل كيف توصل اينشتاين لهذا النظريات ولا سيما وأن التجارب التي تجرى حتى الآن تؤكد صحة نظريات اينشتاين وينشر ما يقارب 1000 بحث سنوياً حول النظرية النسبية..**

**قال عنه زميله في برلين العالم الفيزيائي لندتبورغ ((كان يوجد في برلين نوعان من الفيزيائيين: النوع الأول آينشتاين، والنوع الآخر سائر الفيزيائيين)).**

مع اندلاع الحرب العالمية ظل آينشتاين يتابع أعماله العلمية في برلين وركز نشاطه على التوسع في نظرية الجاذبية التي نشرها في العام **1916** وهو في الثامنة والثلاثين من عمره. حاول الكثير من الأحزاب السياسية زجه في نشاطاتهم ولكنه كان دائما يقول إنني لم اخلق للسياسة وفضل الانعزال والوحدة قائلاً ((إن الفرد المنعزل هو وحده الذي يستطيع أن يفكر وبالتالي أن يخلق قيما جديدة تتكامل بها الجماعة)) هذا أدى إلى دفع معارضيه للنيل منه. أحيكت له المؤامرات والدسائس مما ذاع صيته في مختلف أنحاء العالم ووجهت له الدعوات من العديد من الجامعات للتعرف عليه وسافر إلى ليدن بهولندا وعين أستاذا في جامعتها. وأسف الكثيرون في ألمانيا رحيله لأن شهرته العظيمة في الخارج من شأنها أن تعيد إلى ألمانيا هيبتها التي فقدتها في الحرب. وتلقى كتب ودعوات من وزير التربية ليعود إلى بلده فعاد وحصل على الجنسية الألمانية لأنه في ذلك الوقت كان لا يزال محتفظاً بجنسيته السويسرية.

كثرت الدعوات التي تلقاها اينشتاين بسبب شهرة نظريته النسبية وكان يقابل في كل مرة يلقي فيها محاضرة باحتفال هائل يحضره عامة الناس ليتعرفوا على هذا الرجل بالرغم من عدم إلمامهم بفحوى النظرية النسبية ولكن اهتمام الناس به لم يسبق لعالم إن حظي به من قبل فكان يستقبل استقبال المعجبين لفنان مشهور. لقد كان تقرير صادر عن البعثة الفلكية الإنجليزية عام 1919 الذي تؤيد فيه صحة نبوءة آينشتاين عن انحراف الضوء عند

مروره بالجو ألجاذبي من أهم دواعي شهرته العالمية. ولكن لكونه ألماني الجنسية كان صيته في انجلترا قليل وبدعوة من اللورد هالدين توجهآينشتاين إلى انجلترا وقدمه هالدين قائلا ((إن ما صنعه نيوتن بالنسبة إلى القرن الثامن عشر يصنعه آينشتاين بالنسبة إلى القرن العشرين)).

يروى أنه تم الإعلان عن جائزة قدرها خمسة آلاف دولار لكاتب أحسن ملخص للنظرية النسبية في حدود ثلاثة آلاف كلمة فتقدم ثلاثمائة شخص وحصل على الجائزة رجل من محبي الفيزياء ايرلندي الجنسية عمره 61 عاماً في 1921.

ظل آينشتاين يسافر بين بلدان العالم من فرنسا إلى أسبانيا إلى فلسطين وإلى الصين واليابان وحصل على جائزة نوبل في 1923 وسلمه إياها ملك السويد

وبعدها استقر في برلين وكان الزوار من مختلف أنحاء العالم يأتون له ويستمتعون بحديثه ولقاءه حتى عام 1929 والتي فيها بلغ من العمر الخمسين عاماً قرر الاختفاء عن الأنظار ولم يكن احد يعلم أين يقيم.

كان آينشتاين محبا للسلم ويكره الحرب وفي نداء تلفزيوني إلى تورمان رئيس الولايات المتحدة الأسبق قال ((لقد كان من المفروض أول الأمر أن يكون سباق التسلح من قبيل التدابير الدفاعية. ولكنه أصبح اليوم ذا طابع جنوني. لأنه لو سارت الأمور على هذا المنوال فسيأتي يوم يزول فيه كل أثر للحياة على وجه البسيطة)).

في 18 ابريل من العام 1955 وفي مدينة برنستون مات ذلك العبقري وأخذ الناس يتحدثون عن آينشتاين من جديد وتنافست الجامعات للاستئثار

بدماغ ذلك الرجل عساها تقف من فحصها على أسرار عبقريته.. كان آينشتاين يعيش بخياله في عالم آخر له فيه الشطحات والسبحات وكانت الموسيقى سبيله الوحيد للتنفيس عن ثورته العارمة وكان الكون بالنسبة له مسرحا ينتزع منه الحكمة فغاص في أبعاده السحيقة.

## النظرية النسبية الخاصة

### الأبعاد الأربعة ( المكانية والزمانية )

نحتاج قبل الدخول إلى مفاهيم النظرية النسبية تعريف مفهوم الأبعاد المكانية والزمنية حيث أن كثيرا ما تعرف النظرية النسبية على إنها نظرية البعد الرابع. فما هي هذا الأبعاد الأربعة وكيف نستخدمها ولماذا اينشتاين العالم الأول الذي أكد على ضرورة استخدام البعد الرابع (الزمن) بالإضافة إلى الأبعاد الثلاثة التي اعتمد عليها جميع العلماء من قبله...

تطور مفهوم الأبعاد مع تطور الإنسان واقصد هنا تطوره في الحياة ففي الزمن الأول كان الإنسان يتعامل مع بعد واحد في حياته هذا جاء من احتياجه للبحث عن طعامه فكان يستخدم رمحه لاصطياد فريسته وبالتالي كان يقذف رمحه في اتجاه الفريسة حيث ينطلق الرمح في خط مستقيموحركة الرمح هنا تكون في بعد واحد وسنرمز له بالرمز x. ومن ثم احتاج الإنسان ليزرع الأرض وبالتالي احتاج إلى التعامل مع مساحة من الأرض تحدد بالطول والعرض وهذا يعد استخدام بعدين هما xو yلأنه بدونهما لا يستطيع تقدير مساحة الأرض المزروعة. وعندما احتاج الإنسان للبناء أخذ يفكر ويحسب في البعد الثالث وهو الارتفاع. وهذه هي الأبعاد الثلاثة x,y,z والتي كانت الأساس في حسابات الإنسان الهندسية،

وحتى مطلع القرن العشرين اعتبرها الإنسان كافية لحل كل المسائل التي تقابله على سطح الكرة الأرضية. وحتى يومنا هذا نعتمد على الأبعاد الثلاثة في تنقلاتنا وسفرنا وحساباتنا.

آينشتاين هو العالم الوحيد الذي فكر في البعد الرابع (الزمن) وقال إن الكون الذي نعيشه ذو أربعة أبعاد وهي الطول والعرض والارتفاع والزمن. وادخل البعد الرابع في جميع حساباته. يستطيع الإنسان تخيل البعد الواحد والبعدين ويمكن رسمهما ولكن البعد الثالث يحتاج منه إلى قدرات تخيلية إضافية ولكن من الصعب التفكير والتخيل بالأبعاد الأربعة معا وخصوصا أن البعد الرابع وهو الزمن لا يمكن رؤيته ولكننا نعيشه وندركه كمسلمة من مسلمات الوجود. فإذا اعتبرنا أن هندسة الكون تعتمد على أربعة أبعاد فإن حساباتها ستكون غاية في التعقيد ونتائجها غير متوقعة وهذا ما فعله آينشتاين في نظريته النسبية.

تمهيد:إن المقاييس من مساحات وحجوم وكتل وتحديد المكان والزمان والسرعة هي مقاييس معروفة في نظر الفيزياء الكلاسيكية (فيزياء جاليلو ونيوتن) فكلنا نقيس المسافات والزمن بنفس الطريقة والكيفية ولا يختلف في ذلك اثنان إذا كانت مقايسهما معايرة بدقة

وهذا يعني أننا سلمنا بأن هذه المقاييس مطلقة ولكن هذا يخالف النظرية النسبية التي تقوم على أنه لا وجود لشيء مطلق في كل هذه الأشياء أنما هي نسبية،

فالدقيقة (60 ثانية) التي نقيسها بساعاتنا يمكن أن يقيسها آخر على إنها أقل من دقيقة أو أكثر،

وكذلك المتر ألعياري طوله متر بالنسبة للشخص الذي يحمله ولكن بالنسبة لآخر يتحرك بسرعة كبيرة بالنسبة لذلك الشخص يجد المتر 80 سنتمتر وكلما زادت سرعته كلما قل طول المتر ليصبح طول المتر صفر إذا تحرك الشخص بسرعة الضوء (سنجد انه من الاستحالة الوصول لسرعة الضوء) وهذا لا يعود لخطأ في القياسات بين الشخصين أو خلل في آلات الرصد التي يستخدمونها فكل منهما يكون صحيحا ولكن بالنسبة له. ولهذا سميت بالنظرية النسبية والكثير من الأمور المسلم بها في حياتنا والتي نعتبرها مطلقة تصبح نسبية في عالم النسبية.

بمفهوم اينشتاين والتعامل مع الزمن على أنه بعد من الأبعاد يصبح كل شيء نسبياً فمثلاً نعرف أن الكتلة هي كمية المادة الموجودة في حجم معين مثل كتلة الماء في حجم سنتيمتر مكعب هي واحد جرام وكتلة الماء هذه ثابتة ولكن وزنها هو الذي يتغير تغيرا طفيفا نتيجة لتأثير الجاذبية عليها فيقل الوزن قليلا في المرتفعات ويزيد في المنخفضات نتيجة لتغير تأثير الجاذبية حسب بعدنا أو قربنا من مركز الأرض

وهذا التغير يكون في حدود جرام واحد فقط، ولكن آينشتاين يبين أن الكتلة تتخلى عن تأثير الجاذبية وتتغير في حدود أكبر بكثير قد تصل إلى الآلاف ولا علاقة لتغير الكتلة بالجاذبية. إن ثبوت المقاييس والأبعاد عند آينشتاين في الكون لا وجود له حسب نظريته النسبية.

المكان في النسبية

إذا سألت نفسك في هذه اللحظة هل أنت ثابت أم متحرك، فستنظر حولك بكل تأكيد وتقول أنا لست متحرك فأنا ثابت أمام جهاز الكمبيوتر مثلاً

وعلى الأرض وهذا صحيح فأنت ثابت بالنسبة للكمبيوتر والأرض (أي الكرة الأرضية) ولكن هذا ليس صحيح بالنسبة للكون فأنت والكمبيوتر والأرض التي تقف عليها تتحركوا وهذه الحركة عبارة عن مجموعة من الحركات منها حركة الأرض حول نفسها وحركة الأرض حول الشمس وهناك حركة للشمس والأرض داخل مجرة درب التبانة ومجرة درب التبانة تتحرك بالنسبة إلى الكون.. إذا عندما اعتقدت انك ثابت فهذا بالنسبة للأشياء حولك ولكن بالنسبة للكون فكل شيء متحرك. وخذ على سبيل المثال هذه الأرقام ......

**سرعة دوران الأرض حول نفسها ربع ميل في الثانية وسرعة دوران الأرض حول الشمس 18 ميل في الثانية والشمس والكواكب تسير بالنسبة لجيرانها النجوم بسرعة 120 ميل في الثانية ومجرة درب التبانة منطلقة في الفضاء بسرعة تصل إلى 40000 ميل في الثانية. تخيل الآن كم هي سرعتك وعدد الحركات التي تتحركها بالنسبة للكون. وقدر المسافة التي قطعتها منذ بدء قراءة هذه المحاضرة حتى الآن.**

**لا احد يستطيع أن يحدد هل مجرة درب التبانة هي التي تبتعد عن المجرات الأخرى بسرعة 40000 ميل في الثانية أم إن المجرات هي التي تبتعد عنا بهذه السرعة. فعلى سبيل المثال إذا أراد شخص أن يصف لنا سفره من مطار بغداد إلى مطار دبي الدولي فإنه يقول غادرت الطائرة مطار بغداد في الساعة الثالثة ظهرا واتجهت جنوباً لتهبط في مطار دبي الدولي الساعة السادسة مساءً.. ولكن لشخص آخر في مكان ما في الكون يرى إن الطائرة ارتفعت عن سطح الأرض في بغداد وأخذت تتباطأ حتى وصلت مطار دبي**

**لتهبط فيه. أو إن الطائرة ومطار دبي تحركا في اتجاهات مختلفة ليلتقيا في نقطة الهبوط.. وهنا يكون من المستحيل في الكون الواسع تحديد من الذي تحرك الطائرة أم المطار.**

**كذلك يجب أن نؤكد إن الاتجاهات الأربعة شمال وجنوب وشرق وغرب والكلمات فوق وتحت ويمين وشمال هي اصطلاحات لا وجود لها في الكون فلا يوجد تحت أو فوق ولا شمال أو جنوب.**

**إن التعامل بهذه المفاهيم الجديدة والنظرة الشاملة للكون بلا شك أمر محير ولاسيما إذا أدخلنا البعد الرابع في حساباتنا فكل شيء يصبح نسبي.**

**مما سبق تبين أن نسبية المكان تخالف كل ما هو مألوف لنا وقد يتسائل القارئ ما أهمية ذلك بالنسبة لنا ونحن نعيش على سطح الأرض وأمورنا كلها مضبوطة على نسق واحد؟ ولماذا هذا الخلط بين ما يحدث على الأرض والكون؟ وما فائدة النسبية لنا كل هذه الأسئلة سيأتي الإجابة عليها من خلال هذه المحاضرات المتتابعة عن النظرية النسبية ولكن قبل ذلك يجب الخوض في نسبية الزمان وهذا سيوضح لنا أن مفهوم الماضي والحاضر والمستقبل هي من الأمور النسيبة أيضا.....**

**الزمان في النسبية:**

**لم يكتف آينشتاين بأن أثبت أن المكان نسبي ولكن عمم نسبية المكان على الزمان (البعد الرابع) حيث أنه قال طالما أننا نعيش في عالم ذو أربعة أبعاد ووجد أن الأبعاد المكانية الثلاثة التي تحدد بـ x,y,z هي نسبية لا بد وان يكون الزمان (البعد الرابع) نسبياً أيضا هذا هو آينشتاين الذي يفكر ويضع النظريات**

ويحلل النتائج في عقله ويخرج للناس بمفاهيم جديدة لم يستطيع احد أن ينفيها ولا أن يبطلها ولا أن يصدقها ولكن كانت نسبية المكان والزمان منذ ذلك الوقت وحتى يومنا هذا تبرهن على صحتها من خلال تفسيرها للعديد من الظواهر الفيزيائية التي حيرت العلماء ولم يكن أمامهمإلا تطبيق نظرية اينشتاين ليجدوها تفسر تلك الظواهر وسيأتي شرح تفصيلي لهذه الظواهر..

اعتبر العلماء ومن بينهم العالم نيوتن أن الزمن مطلق ويجري بالتساوي دون أية علاقة بأي مؤثر خارجي. ولكن اينشتاين لم يتقيد بما سبقه من العلماء وفكر بالأمر من وجهة نظر مختلفة تشمل الكون الفسيح .... كيف ذلك؟؟...

تعودنا نحن سكان الكرة الأرضية على تقدير الزمن من خلال اليوم وأجزائه (الساعة والدقيقة والثانية) ومضاعفاته (الأسبوع والشهر والسنة والقرن) ويومنا هو مقدار الزمن اللازم للأرض لتدور حول نفسها دورة كاملة والسنة هي مقدار الزمن اللازم للأرض لإكمال دورة كاملة حول الشمس وتساوي 365 يوم وربع اليوم. ولكن ماذا عن اليوم والسنة على كوكب عطارد أو كوكب بلوتو لا شك أن ذلك سيكون مختلف بالنسبة لمقاييسنا فالسنة على كوكب عطارد ثلاثة أشهر من الوقت الذي نقيسه على الأرض بينما السنة على كوكب بلوتو فهي اكبر من ذلك بكثير

وتساوي 248 سنة من سنوات الأرض.. الأمر عند هذا الحد معقول ولكن ماذا عن المجرات الأخرى كيف تقدر اليوم والسنة عندها؟ وهل يمكن استخدام الأزمنة الأرضية كمقياس للزمن على أرجاء هذا الكون الفسيح؟

ان هذا الكون يحتاج إلى طريقة جديدة لتقدير المسافات بين مجراته ونجومه لأن استخدام وحدة المتر أو الميل ستقودنا إلى أرقام كبيرة جدا لا يمكن تخيلها ولهذا فإن العلماء يستخدمون سرعة الضوء لقياس المسافة حيث أن سرعة الضوء 300 ألف كيلومتر في الثانية (الضوء يدور حول الأرض 7 مرات في الثانية أي عندما تقول كلمة واحدة يكون الضوء قد لف حول الأرض سبع مرات) وإذا حسبنا المسافة التي يقطعها الضوء في السنة نجد أنها مسافة كبيرة جدا (الأرقام الفلكية) فمثلا نعلم أن أشعة الشمس تصلنا خلال ثمانية دقائق وبهذا يكون بعد الشمس عنا ثماني دقائق ضوئية وهنا استخدمنا وحدة الزمن لقياس المسافة. مثال آخر على اقرب نجم إلى المجموعة الشمسية يسمى ألفا قنطورس يبعد عنا أربعة سنوات ضوئية والنجوم البعيدة في مجرتنا تبعد عنا آلاف السنوات الضوئية ويقدر قطر درب التبانة بـ 80 ألف سنة ضوئية (تخيل أن الضوء الذي يصدر عند احد أطرافها يصل إلى الطرف الآخر بعد ثمانين ألف سنة)

كل هذا في مجرتنا وبعض التلسكوبات رصدت مجرات تبعد عشرة ألف مليون سنة ضوئية ذلك يعني أنه إذا وقع حدث ما في طرف الكون فإنه لا يصل إلى الطرف الآخر قبل مرور عشرة آلاف مليون سنة!!! وسنعلم أيضا أن الكون لا زال يتمدد وبسرعات هائلة... سبحان الله ولا نملك إلا أن نقول ذلك..

الأرقاموالأبعاد الفلكية السابقة ضرورية لشرح الموضوع التالي والذي من خلاله سنوضح مفهوم نسبية الزمن لدى آينشتاين.

افترض انك في غرفة مظلمة تماماً وتحرك جسم من مكان إلى مكان

آخر في هذه الغرفة فإنك لا تعلم بذلك (على افتراض انك لا تعتمد على حاسة السمع) ولكن في وجود الضوء فإن انتقال الجسم أو حركته ترصدها من خلال انعكاس الضوء من على الجسم المتحرك إلى العين. الضوء هو الوسيلة الوحيدة التي نعلم من خلالها حدوث حدث ما في الكون وهو أسرع وسيلة لنقل المعلومات بين النجوم والمجرات فحدث ما على الشمس نعلم به على الأرض بعد ثمانية دقائق من وقوعه، وانفجار نجم ألفا قنطورس يصلنا خبره بعد أربعة سنوات لان الضوء القادم منه سيصل الأرض بعد أربعة سنوات وكذلك النجوم التي نراها في الليل قد لا تكون موجودة الآن ولكننا نرى الضوء الذي صدر عنها منذ سنوات أوآلاف السنوات حسب بعدها عنا أما التي تبعد عنا ألف مليون سنة ضوئية

فإن ضوءها الذي يصلنا الآن يعطينا معلومات عنها قبل ظهور الحياة على الأرض!! هذا يقودنا إلى أن كلمة الآن لا وجود لها إلا على الأرض هذا كله يدركه الناس ولا غرابة فيه لأننا نعلم كم هذا الكون واسع وفسيح.. لم تقف النظرية النسبية عند هذا الحديث فقط بل تعدته إلى القول أن الزمن نفسه لا يجري في الكون بشكل متساوي بل يقصر ويطول حسب سرعتنا ومكاننا بالنسبة للحدث. وليس المقصود هنا أن ذلك مجرد شعورنا بان الزمن يمر ببطء أو أنه يمر بسرعة حسب مشاعرنا بالسعادة أو التعاسة عندما نقوم بعمل ما. فنسبية الزمن لا تعتمد على شعورنا ومزاجيتنا إنما المقصود في النظرية النسبية أن الساعة الزمنية التي تدل على فترة معينة من الزمن هي التي تطول أو تقصر حسب السرعة والمكان.

لتوضيح هذا الفكرة نفرض أن شخصين لديهما ساعات متماثلة تم ضبطها بدقة، احد الشخصين قرر البقاء على الأرض والشخص الآخر سافر في مركبة فضائية تسير بسرعة كبيرة، فإذا وفرت للشخص الأرضي مرصدا يراقب من خلاله ساعة الشخص الفضائي فإنه كلما زادت سرعة الشخص الفضائي كلما تباطأت حركة عقارب ساعته بالنسبة للشخص الأرضي

وإذا ما وصلت سرعة المركبة الفضائية إلى سرعة الضوء فإن الشخص الأرضي سوف يجد أن عقارب ساعة الشخص الفضائي توقفت عن الحركة أي أن الزمن توقف وأصبح صفراً (لا يمكن الوصول بسرعة جسم إلى سرعة الضوء وسنعرف ذلك قريباً) وهذا التباطؤ في ساعة الفضائي ليس بسبب خلل في الساعة إنما نتيجة لسرعته..

إن الأمر لا يقف عند هذا الحد في النظرية النسبية لأن ذلك انعكس على مفهومنا للماضي والحاضر والمستقبل فمثلا انفجار نجم ما قد يكون ماضي بالنسبة لشخص في هذا الكون ويكون حاضر لشخص آخر في مكان آخر وقد يكون مستقبلا بالنسبة لشخص ثالث في مكان ثالث. وهذا بسبب تباطؤ الزمن. حسب سرعة كل شخص بالنسبة للحدث ومكانه. ولها لا معني للماضي والحاضر والمستقبل إلا على الأرض لان الشريط الزمني المعروف لنا يتباطأ بدرجة معينة في مكان معين في الكون ويتباطأ بدرجة مختلفة في مكان آخر وهكذا..

بعيدا عن النسبية:

اننا نعيش الزمن من خلال تقسيمه إلى ماضي وحاضر ومستقبل وكلنا يستطيع أن يسبح بخياله في أحداث الماضي ويعيش اللحظات الحاضرة بحلوها ومرها ولكن المستقبل فلا قدرة لنا عليه وعلى توقع ماذا سيحدث فيه

**وذلك لأننا كمخلوقات لله سبحانه وتعالي حجب عنا أحداث المستقبل (كما حجب عنا رؤية الأشعة تحت الحمراء والفوق بنفسجية وحجب عن سمعنا ترددات معينا يمكن لمخلوقات أخرى سماعها لأننا بشر محدودين لكوننا مخلوقات) أما الله سبحانه وتعالى فالأزمنة والأحداث عنده كالكتاب المفتوح. الله يعلم بالماضي والحاضر والمستقبل فهو يعلم ماذا فعلنا وماذا نفعل وماذا سنفعل في أي وقت وفي أي لحظة.**

**كل ما ذكر في نسبية المكان ونسبية الزمان هو توضيح لمفاهيم وضعها آينشتاين لتكون تمهيدا للدخول إلى النظرية النسبية وفهم مضمونها وعندها ستكون الصورة أوضح.**

**بعد أن تكلمنا عن نسبية المكان ونسبية الزمان أصبحنا اقرب ما يكون لفرضيات النظرية النسبية ولكن من الضروري المرور عبر الملابسات التي سبقت ظهور النظرية النسبية وتوضيح التخبط الذي أحاط بالعلماء الفيزيائيين عند عجزهم عن الوصول إلى تفسير مقنع للتجارب التي اعتمدت على الضوء وسنركز على التجربة الشهيرة المعروفة بتجربة ميكلسون مورلي.**

**سرعة الضوء:**

**ذكرنا سابقاً أن سرعة الضوء تبلغ 300 ألف كيلو متر في الثانية الواحدة وهذا يعني أنه يمكن للشعاع الضوئي أن يدور سبع مرات حول الكرة الأرضية في الثانية ولذلك لا نستغرب حين نشاهد في إحدى المحطات الفضائية برنامجاً تلفزيونيا ويشاهده في نفس اللحظة أناس آخرون على الطرف الثاني من الكرة الأرضية لأن الإشارات التلفازية تنتقل بسرعة الضوء**

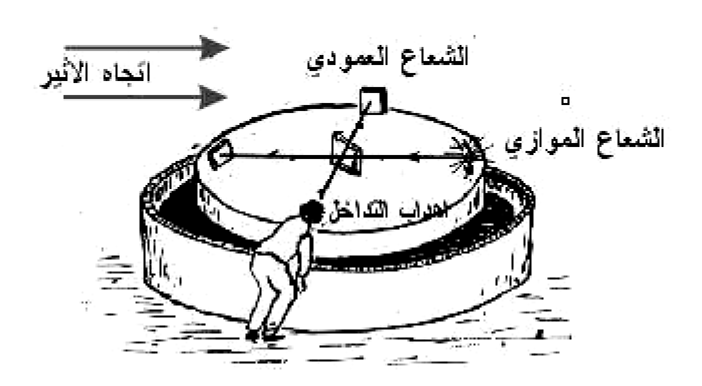
**(لأنها أشعة كهرومغناطيسية مثل الضوء). وبالطبع نحن نسمع صوت الرعد بعد لحظات من رؤية ضوء البرق أو نرى ضوء انفجار قذيفة قبل لحظات من سماع صوتها وهذايعود إلى الاختلاف الكبير بين سرعة الضوء وسرعة الصوت (تبلغ سرعة الصوت 330 متر في الثانية) .**

**أجرى العلماء العديد من التجارب لقياس سرعة الضوء ووصلوا إلى القيمة التي ذكرناه سابقاً (300 ألفكيلومتر في الثانية) وهذه السرعة الكبيرة للضوء استخدمت في تقدير المسافات الفلكيةبين النجوم والمجرات لأنه لا يمكن بأي حال من الأحوال الاعتماد على وحدة المترومضاعفاته، ولذلك إذا قرأت في كتب الفلك ستجد أن وحدة قياس المسافة هي السنة الضوئية**

**وهي المسافة التي يقطعها الضوء خلال سنة والتي تساوي 9460000000000 كيلومتر. لاحظ هنا أن السنة الضوئية هي وحدة زمن ولكن استخدمت لتقدير المسافة أي أن الزمن بعد يضاف إلى الأبعاد الثلاثة x,y,z ولهذا سمي بالبعد الرابع.**

**الأثير: نعلم أنالصوت ينتقل من خلال موجات اهتزازية تحدث اضطراب في الهواء وبهذا فإن الصوت ينتقل خلال وسط الهواء كما أن الأمواج التي يحدثها حجر اسقط في بركة ماء فإن الاضطراب الذي أحدثه الحجر ينتقل في صورة أمواج اهتزازية خلال جزيئات الماء .الآن ماذا عن الضوء؟ وما هو الوسطالذي ينقله؟ وما هو ذلك الشيء المكون لأمواج الضوء؟.. هذه أسئلة حيرت العلماء وقادتهم أفكارهم إلى افتراض وسط سموه الأثيري ملأ فراغ الكون وقد أعطى العلماء خصائص للأثير بمايناسب تجاربهم، فالأثير له من الخصائص الكثير فمثلا الأثير يخترق جميع الأجساموالنجوم والكواكب التي تسبح فيه. الأثير ينسحب خلف الأجسام الصلبة وازدادت خصائصالأثير مع كل تجربة لا تتفق نتائجها العملية مع المتوقع من الأثير. بذلك اعتبر العلماء الأثير هو الشيء الثابت والمطلق الذي ينقل الضوءمن خلاله وان كل جسم متحرك فهو متحرك بالنسبة للأثير حتى الضوء (أي أن سرعة الأرض مثلا هي سرعتها بالنسبة للأثير وسرعة الضوء هي سرعته بالنسبة للأثير).**

**تجربة ميكلسون مورلي:**




لم يكن العلماء بحاجة إلى تجارب لإثبات فرضية وجود الأثير ولكن تجربة بسيطة تثبت وجود الأثير سيزيد من تثبيت أركان علم الفيزياء. تعتمد فكرة التجربة التي أجراها كلاً من العالمين ميكلسون ومورلي على قياس الفرق في سرعة الضوء بالنسبة للأثير وذلك من خلال جهاز يسير فيه الضوء مسافة معلومة مرة مع تيار الأثيرثم ينعكس على سطح مرآة ويعود ليتداخل مع شعاع ضوئي أخر قد انعكس عن مرآة تبعد نفس المسافة بحيث أن الشعاع الثاني يسير عموديا على اتجاه الأثير.

وهذا سوف يحدث تداخل للشعاعين مما ينتج للمشاهد أهداب تداخل عبارة عن مناطق مضيئة ومناطق معتمة تتغيربتغير سرعة الضوء. وبإجراء حسابات بسيطة (سيأتي ذكرها بالتفصيل من خلال محاضرات في النظرية النسبية) نجد أن الشعاع الضوئي الموازي للأثير يستغرق زمن أطول لإكمال رحلة الذهاب والإياب من الزمن اللازم للشعاع الذي يسير عمودي على الأثير. هذا الاختلاف يتغير إذا أديرت الطاولة التي تحمل التجربة بحيث يصبح الشعاع الموازي للأثير عموديا والشعاع الذي كان عمودي يصبح موازيا للأثير .ما الفائدة من ذلك؟ توقع العلماء عند دوران التجربة بالنسبة للأثير أن يحدث تغيير في الأهداب المتكونة نتيجة للتداخل بين الشعاعين الضوئيين (للاختلاف في الزمن بينهما) بحيث تحل الهدبة المضيئة مكان الهدبة المعتمة وهكذا..إن الفارق الزمني لرحلة الذهاب والعودة للشعاعين يعود إلى فرضية أن الضوء ينتقل في وسط الأثير وبالتالي فإن سرعة الضوء سوف تعتمدعلى سرعة الأرض بالنسبة للأثير وعلى اعتبار أن الأرض تسير بالنسبة للأثير بسرعة مقدارها 30 كيلو متر في الثانية. وعليه يكون من المتوقع أن تختلف سرعة شعاع الضوءالذي يوازي اتجاه الأثير عن الشعاع العمودي عليه...

كانت نتيجة التجربة على غير المتوقع ولم يحدث تغيير في مواقع أهداب التداخل. وأعيدت التجربة مرات عديدة في مناطق مختلفة على الأرض وفي أوقات مختلفة ولكن دائما لم يكن هناك تغيير في مواقع الأهداب الذي كان يتوقعه العالمين من نتائج التجربة أو العلماءالآخرون الذين حاولوا تكرار التجربة.

هذه النتيجةا لسلبية (عدم اتفاق النتائج العملية مع النظرية تسمى نتيجة سلبية) صدمت العلماء فيصحة نظرياتهم الكلاسيكية وتمسك العلماء بفرضية الأثير وجعلتهم يقولون تارة أنالأثير ولا بد وانه يسير مع الأرض وتارة يقولون أن الأجسام تنكمش في اتجاه حركتهاخلال الأثير وغيره من الاعتقادات وذلك لرفضهم فكرة فشل فرضية الأثير وكل ما بنيعليها لسنوات...

وهنا جاء آينشتاين وهو في الخامسة والعشرين من عمره ليبني أسس جديدة للفيزياء سماها النظرية النسبية.....

الآن يمكن الشروع في استعراض مفاهيم النظرية النسبية التي وضعها العالم آينشتاين في عام 1904 وسماها النظرية النسبية الخاصة وفي العام 1916 نشر آينشتاين نظريته النسبية العامة وهنا يجب أن نوضح أن كلا النظريتين هما نظرية واحدة ولكن النظرية النسبية الخاصة تتعامل مع الأجسام المتحركة بسرعة منتظمة (بدون عجلة)، والنظرية النسبية العامة تعالج حركة الأجسام المتسارعة

وهي تشمل حركة كافة مكونات الكون من نجوم ومجرات لأنها تتحرك في مسارات دائرية وهذا يعني أن تلك الأجسام لها عجلة تغير من اتجاه مسارها.. ولهذا فإن النظرية النسبية العامة أشمل وأعم وسنتعرض لها بشيء من التفصيل بعد استعراض النظرية النسبية الخاصة..

## النظرية النسبية الخاصة

بمحاولة آينشتاين تفسير نتائج تجربة ميكلسون مورلي وضع نظريته النسبية الخاصة في العام 1904. بهذه النظرية غير آينشتاين مفاهيم النظرية الكلاسيكية ليأتي بمفاهيم غاية في الغرابة لم يكن احد من العلماء قد فكر بها وفتح بذلك الأبواب للعلماء لعصر جديد من العلوم الفيزيائية سميت بالعصر الذري وهو الذي نعيشه الآن. فسرت النظرية النسبية العديد من الظواهر الطبيعية في الكون وشكلت قاعدة صلبة راسخة متماسكة.. وحتى يومنا هذا لازالت التجارب المختلفة التي يجريها العلماء تثبت صحة النظرية النسبية. إن النظرية النسبية غيرت مفاهيم كل شيء فخلطت المكان والزمان وجعلت من المطلق نسبي والمستقيم محدب كما كان لها نتائج فلسفية عديدة ولكن سنحاول التركيز على الأمور العلمية.

فروض النظرية النسبية:

قلنا في موضع سابق أن آينشتاين استخدم عقله وتفكيره بشكل شمولي للكون وأمعن التفكير والتأمل ليبني الفرضيات ويجري التحليلات الرياضية بشكل مجرد ويظهرها للعلماء لتطبيقها وهكذا هو الحال بالنسبة للنظرية النسبية حيث وضع آينشتاين فرضيتين لتكون أساسا للنظرية النسبية وطلب من الكل باعتبارها من المسلمات أو البديهيات وهذا ما جعل العلماء رفض الاقتناع بصحة تلك النظرية ولكن هذه النظرية أوجدت تفسيرات وقوانين للعديد من

الظواهر الكونية وفي كل مرة عقدت تجربة لإبطال صحة النظرية النسبية كانت النتائج تؤكد صحتها وتعطي دليلا جديدا على دقتها وشموليتها..

فروض النظرية النسبية هما فرضيتان الأولى متعلقة بالأثير والفرضية الثانية متعلقة بالضوء.

الفرضية الأولى تنفي وجود الأثير لأن حسب نسبية آينشتاينلا يوجد مطلق يمكن إسناد كل شيء إليه مثل ما فعل العلماء بفرضية الأثير.

الفرضية الثانية تقول أن سرعة الضوء في الفراغ ثابتة ولا تعتمد على سرعة المشاهد.

شرح الفرضية الأولى

توضح الفرضية الأولى للنظرية النسبية أن لا وجود للأثير وكان هذا مخالف لكافة العلماء ذلك الوقت... وبفرضية أن الأثير غير موجود فأن المكان المطلق لا وجود له ولا يوجد إلا المكان النسبي والسرعة النسبية. ويوضح اينشتاين ذلك بمثال مركبتين فضائيتين في الكون فلا يستطيع رواد المركبة الأولى من تحديد سرعة مركبتهم إلا بمقارنتها بالنسبة للأجرام المتناثرة حولها أو بالنسبة للمركبة الثانية إذا مرت بالجوار وكذلك الحال بالنسبة للمركبة الثانية وأي شخص يحاول إيجاد سرعة المركبة فإنه سيجدها بالنسبة لسرعة أخرى. وحيث أن كل شيء في الكون يتحرك حركة دائمة ومعقدة فإن أي سرعة تحدد على أساس مقارنتها بسرعة أخرى..

مثال:إذا كنت في سفينة فضائية تسير بسرعة 10 ألاف كيلومتر في الساعة بالنسبة للأرض ولاحظت أن سفينة أخرى تقترب منك وتجاوزت سفينتك

فإن أجهزة الرصد لديك سوف تقدر سرعة السفينة التي مرت بقربك على أنها 2000 كيلو متر في الساعة وبما أن سرعتك بالنسبة للأرض معروفة (10 ألاف كيلومتر في الساعة) فإن سرعة السفينة الفضائية الأخرى بالنسبة للأرض ستكون 12 ألف كيلو متر في الساعة.

لاحظ هنا أننا أرجعنا قياساتنا للسرعات بالنسبة للأرض فما بالكلو أننا أصبحنا لا نرى الأرض في هذا الكون الفسيح وان السرعة التي انطلقنا بها تغيرت فكل ما نستطيع قوله هو أن سرعة السفينة الأخرى هو 2000 كيلو متر في الساعة. ولكن هذا الرقم يعبر عن احتمالات عديدة كأن تكون أنت واقف والسفينة مرت عنك بسرعة 2000 كيلو متر في الساعة أو أن تكون أنت متحرك بسرعة 1000 كيلو متر في الساعة وهي بسرعة 3000 كيلو متر في الساعة أو أن تكون تلك السفينة واقفة وأنت متحرك في اتجاه الأرض بسرعة 2000 كيلو متر في الساعة وهكذا . وهذا يعني أنك بحاجة إلى شيء ثابت ليرشدك على من هو المتحرك وكم هي سرعتك واتجاهك ولهذا اسند العلماء كل ذلك إلى الأثير ليهربوا من حقيقة النسبية.. ولكن آينشتاين لم يهرب من الاعتراف بأن الأثير وَهم .... واقر بأن كل حركة نسبية.

ماذا عن السرعة على الأرض؟ نذكر هنا ما قاله العالم نيوتن بأننالا نعرف سفينة تتحرك في البحر أم واقفة بأي اختبار نجريه داخل السفينة ويجب علينا أن نلجأ لاختبارات تصلنا بخارج السفينة. كأن نراقب من على

سطحها حركة الماء أو حركة الجبال لنحدد ما إذا كانت متحركة أم ثابتة أو هل هي تقترب من الشاطئ أم تبتعد عنه.

كما أننا عندما نقول أن سرعة السيارة 100 كيلو متر في الساعة فهذا يكون بالنسبة للأرض فإذا لم نجد ما الشيء الذي نقيس بالنسبة له فحديثنا عن السرعة لا معنى له كما لا يمكننا باستخدام كل وسائل التكنولوجيان معرفة ما إذا كنا نتحرك أو لا.. لأن كل حركة نسبية ولا يمكن أن نتكلم عن حركة مطلقة.

شرح الفرضية الثانية

لم يكن من الصعب فهم المقصود بالفرضية الأولى للنظرية النسبية بالرغم من صعوبة قبول هذه الفرضية من قبل العلماء في ذلك الوقت لأن العديد من الظواهر التي قابلت العلماء فسرت على أساس وجود الأثير ونسب كل شيء إليه، ولهذا كان من الصعب الاعتراف بفشل فرضية الأثير وهدم كل استنتاجاتهم، فحاول الكثير من العلماء إثبات خطأ النظرية النسبية. أما الفرضية الثانية والمتعلقة بثبات سرعة الضوء ثابتة في الفراغ مهما تغير مكان المشاهد أو الراصد لسرعة الضوء.

لتوضيح الجملة الأخير سوف نضرب مثالين من واقع الحياة اليومية.

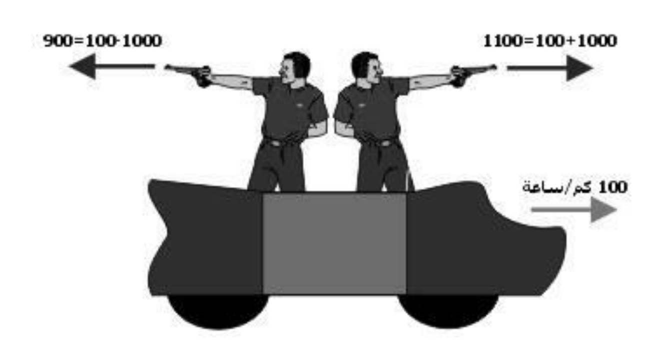
مثال (1)

عندما نكون في سيارة سرعتها 100 كم/ساعة فإننا نرى الأجسام الثابتة وكأنها هي التي تتحرك بنفس السرعة وفي الاتجاه المعاكس. ولكن عندما تأتي سيارة من الاتجاه المعاكس تسير بسرعة 100 كم/ساعة فإن سرعتها بالنسبة

لنا تكون 200 كم/ساعة (لا حظ هنا أننا جمعنا السرعتين في حالة اقتراب السيارة منا)، وإذا تجاوزنا سيارة سرعتها 80 كم/ساعة نقيس سرعتنا بالنسبة لهذه السيارة على أنها 20 كم/ساعة (لاحظ هنا أننا طرحنا السرعتين في حالة ابتعادنا عن السيارة الأخرى). وإذا كانت السيارة الأخرى تسير بنفس سرعة سيارتنا فإننا نقيس سرعة تلك السيارة بالنسبة لنا على أنها صفر أي أنها ثابتة بالنسبة لنا.

مثال (2)

لنفرض سيارة تسير بسرعة 100 كم/ساعة كما في الشكل وقام شخص بإطلاق رصاصة من مسدس في اتجاه حركة السيارة علماً بأن سرعة الرصاصة بالنسبة للمسدس هي 1000 كم/ساعة ثم استدار نفس الشخص وأطلق رصاصة أخرى في اتجاه معاكس لحركة السيارة.



فإذا ما قام شخص على الطريق وقاس سرعة الرصاصة في الحالة الأولى سيجد أنها 1100 كم/ساعة وفي الحالة الثانية سيجد سرعة الرصاصة 900كم/ساعة. وهذا يعود إلى أن سرعة السيارة تجمع مع سرعة الرصاصة في الحالة الأولى وتطرح منها في الحالة الثانية.

هذا التسلسل المنطقي للموضوع محسوس لنا ونعرفه جيداً ولا غرابة في ذلك ولكن ماذا يحدث إذا استبدل المسدس بمصدر ضوئي هنا يتدخل آينشتاين ويقول أن الوضع مختلف فسرعة الضوء تبقى ثابتة في كلا الحالتين وتساوي 300 ألف كم/الثانية وهذا لا يتغير مهما بلغت سرعة السيارة ولو فرضنا جدلاً أن السيارة تسير بسرعة الضوء فإن الضوء المنبعث من المصباح سينطلق أيضا بنفس سرعة الضوء.

بالطبع هذا غريب على مفاهيمنا ويتحدى آينشتاين بذلك مفاهيم العلماء السابقين ويقول لهم عندما سألوه كيف يمكن تصديق هذا ((ما العمل إذا كان هذا هو من قوانين الكون الأساسية؟)) لم يتوصل آينشتاين لهذه الفرضية بإجراء التجارب وتحليل النتائج أنما توصل إليها بعد طرح أسئلة لنفسه حول ثبات الكون والتفكير فيه ليصل إلى هذه الفرضية التي طلب من العلماء التسليم بها ليبنوا عليها العديد من التفسيرات للظواهر الكونية. ولكن العلماء كانوا بحاجة إلى أدلة وبراهين للاقتناع بهذه الفرضية فقام الفلكيون برصد الضوء الواصل إلى الأرض من أحد النجوم في الفضاء

وكان الهدف من هذه التجربة إثبات خطأ فرضية ثبات سرعة الضوء. وذلك بالاعتماد على أن النجم عندما يدور حول مركزه يكون مرة مبتعد عنا ومرة أخرى يكون النجم مقترب منا. وعلى هذا الأساس توقع العلماء أن يرصدوا سرعتين مختلفتين للضوء في حالة اقتراب النجم وابتعاده (توقع العلماء أن تكون سرعة الضوء وهو مقترب أكبر منها وهو مبتعد). ولكن المراصد الفلكية لم تقيس أي تغير في سرعة الضوء.

تفسير تجربة ميكلسون مورلي على أساس النظرية النسبية:

نعود الآن لتجربة ميكلسون مورلي والتي كانت نتائجها العملية مخالفة للحسابات النظرية المبنية على فرضية الأثير وقلنا أن النتائج كانت سلبية ولم يتمكن العلماء من إيجاد تفسير علمي مناسب مهما عدلوا في فرضية الأثير وأضافوا عليه من الخصائص التي ذكرنا بعضا منها. وبتطبيق فروض النظرية النسبية نجد أن المعضلة محلولة لان الأثير غير موجود أصلا وان سرعة الضوء لا تتغير في أي اتجاه. وهذا إثبات آخر لصحة النظرية النسبية.

التمدد الزمني :

**وصف حدث في النسبية**

**قبل البدء في مناقشة النتائج المترتبة عن النظرية النسبية الخاصة، يجب ان نوضح بعض المفاهيم الاساسية لكيفية قيام شخص (سنطلق عليه مراقب) برصد حدث ما في الفراغ.**

**المراقب هو شخص يمتلك آلات علمية دقيقة ليقوم برصد الحدث. وتحديد ابعاده المكانية x وابعادهاالزمنية t .**

**الحدث هو أي شيء تحت الدراسة من قبل المراقب وللحدث بداية ونهاية. مثل سقوط كرة الى الارض، فبداية الحدث هو بدأ سقوط الكرة ونهاية الحدث هو وصول الكرة إلى الأرض.**

**محاور الاسناد وهي الاحداثيات المعروفة (x,y,z) التي تحدد موقع الحدث بالنسبة للمراقب، ولكل مراقب محاور اسناد خاصة به.**

**فمثلا وانت جالس في الغرفة الآن فإنك تستخدم احد اركان الغرفة لتجعلها محاور اسناد لك تستخدمها في وصف الاحداث وتحديد موقعها. اما اذا كنت في سيارة تسير بسرعة v فإن محاور اسنادك تكون ثابتة بالنسبة لحدث ما في السيارة**

لأن بداية الحدث ونهايته لم تغير من الأبعاد المكانية، أما بالنسبة لشخص خارج السيارة فإن الحدث داخل السيارة يعتبر متحرك بالنسبة له لأنبداية الحدث ونهايته كانتا في مكانين مختلفين بالنسبة لذلك المراقب.

مثال

لنخذ على سبيل المثال حدث يتمثل في انفجار قنبلة على مكان ما على سطح الأرض هذا الحدث له ابعاد مكانية وابعاد زمنية تحدد بواسطة المراقب الذي يقوم برصد ذلك الحدث.

لنفرض أن هنالك مراقبين كان احدهما ثابت والاخر متحرك بسرعة $v$ بالنسبة للحدث. كلا المراقبين يمتلك آلات دقيقة لا تخطئ لرصد الحدث وذلك لتحديد الابعاد المكانية والزمنية للحدث.

المراقب الثابت قام برصد الابعاد المكانية والزمنية للحدث لتحديد بداية الحدث (انفجار القنبلة) وتحديد نهاية الحدث (نهاية الانفجار). وبما أن هذا المراقب كان ثابتاً بالنسبة للحدث فإنه يقيس التغير في الابعاد المكانية على انها صفر لأنه لم يتحرك خلال الحدث اما بالنسبة للابعاد الزمنية فإنه يقيسها على أنها $\Delta t$ وهي الفترة الزمنية التي استغرقها الحدث. أما بالنسبة للمرااقب

المتحرك فكانت احداثياته (ابعاده) المكانية بالنسبة للحدث متغيرة بمقدار\Δx

وكذلك يقيس الابعاد الزمنية على انها \Δt.

في المثال السابق قام مراقبين برصد الحدث (انفجار القنبلة) وكانت النتيجة أن كل منهما حدد الفترة الزمنية للحدث. فكانت للمراقب الثابت t؟ وللمراقب المتحرك \Δt وفي حياتنا العادية تكون الفترة الزمنية المقاسة للحدث متساوية لكافة المراقبين، ولا يكون هناك فرق بين قياسات زمن الحدث عند المراقب الثابت أو عند المراقب المتحرك.

ولكن هذا لا يتفق مع آينشتين ولا نظريته النسبية حيث أنه يثبت أن الزمنيين المقاسين بواسطة المراقب الثابت والمتحرك يختلف وأن المراقب المتحرك يقيس زمن الحدث أكبر من المراقب الثابت، ولذلك يعتبر المراقب الثابت ان ساعات المراقب المتحرك تؤخر ولهذا اطلق عليها آينشتين التأخير الزمني **Timedilation**.

نسبية الزمن (التمدد الزمني):

لتوضيح المقصود بالتأخير الزمني نستخدم التجربة التي استخدمها آينشتاين لتوضيح الفكرة حيث أعتبر وجود نبضة ضوئية تنطلق من ارضية قطار يتحرك بسرعة v إلى لتسقط على مرآة مثبتة في سقف القطار على ارتفاع وتنعكس لتعود على أرضية القطار.

بداية الحدث هو انطلاق النبضة الضوئية من أرضية القطار.

نهاية الحدث هو عودة النبضة الضوئية إلى ارضية القطار بعد انعكاسها على سطح المرآة.

افترض وجود مراقبين أحدهما داخل القطار O\ وهو الثابت بالنسبة للحدث والآخر خارج القطار O وهو المتحرك بالنسبة للحدث.

L\

**قياسات المراقب الثابت \O:**

**المراقب \O سوف يقيس الزمن اللازم للحدث على أنه المسافة المقطوعة مقسوما على سرعة الضوء. لاحظ هنا ان المراقب \O ثابت بالنسبة للحدث وذلك الإحداثيات المكانية له لم تتغير بين بداية الحدث ونهايته كما هو موضح في الشكل المقابل.**



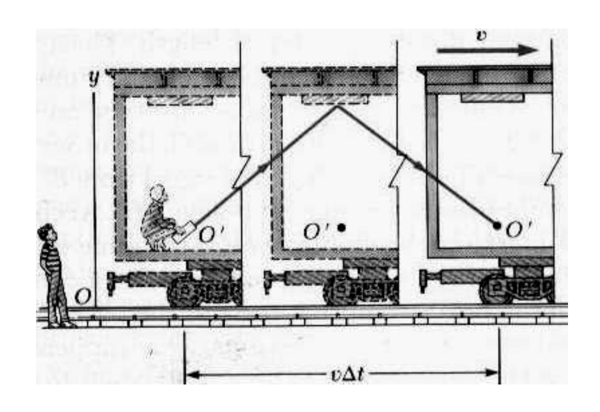
**المسافة المقطوعة هي ضعف ارتفاع السقف (\L 2) وتكون الفترة الزمنية للحدث بالنسبة للمراقب \O على النحو التالي: الزمن = المسافة \ السرعة أي ان:**

$$t^{\backslash} = \frac{2L^{\backslash}}{C} \qquad \text{--------(1)}$$

قياسات المراقب المتحرك O :

المراقب O يجري قياساته ولكن هو متحرك بالنسبة للحدث (أو أن الحدث متحرك بالنسبة له) حيث أن بداية الحدث ونهايته تحدثان في مكانين مختلفين بالنسبة للمراقب O كما في الشكل. فخلال الفترة الزمنية التي استغرقها الحدث يكون القطار قد تحرك إلى اليمين مسافة v t. حيث t زمن الحدث الذي يقيسه المراقب O. يوضح الشكل المقابل مسار النبضة الضوئية بالنسبة للمراقب O. وهنا يكون مسار النبضة الضوئية أطول من مسارها بالنسبة للمراقب \O.

من الفرضية الثانية للنظرية النسبية تكون سرعة النبضة الضوئية ثابتة بالنسبة للمراقبين وتساوي سرعة الضوء C. وحيث أن المسار الذي يسلكه الضوء بالنسبة للمراقب O أطول من المسار للمراقب \O فإن الزمن الذي يقيسة O يكون أكبر من الزمن الذي يقيسه \O.

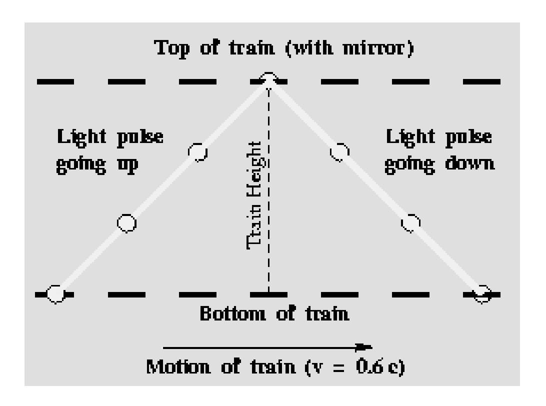



**العلاقة الرياضية بين قياسات المراقب \O والمراقب O :**

**لنعتبر أن الخط الأسود يحدد مسار الضوء كما يرصده المراقب \O**

**والخط الاسود المتقطع هو المسار الذي يرصده المراقب O. لكي يقطع الضوء المسافة من ارضية القطار الى المراة في سقف القطار يستغرق نصف الزمن الكلي أي ( t/2 ).**

**من المثلث الأيسر يمكن تطبيق نظرية فيثاغورس وباعتبار \L هو ارتفاع سقف القطار على النحو التالي:**


Top of train (with mirror)
Light pulse
going up
Train Height
Light pulse
going down
Bottom of train
Motion of train (v = 0.6 c)

ونحل المعادلة لايجاد الفترة الزمنية t

$$\left(\frac{ct}{2}\right)^2 = \left(\frac{vt}{2}\right)^2 + L^{\backslash 2} \Rightarrow \frac{c^2t^2}{4} = \frac{v^2t^2}{4} + L^{\backslash 2}$$

$$\Rightarrow \frac{c^2t^2}{4} - \frac{v^2t^2}{4} = L^{\backslash 2} \Rightarrow \frac{t^2}{4}\left(c^2 - v^2\right) = L^{\backslash 2}$$

$$\Rightarrow t^2\left(c^2 - v^2\right) = 4L^{\backslash 2} \Rightarrow t^2 = \frac{4L^{\backslash 2}}{\left(c^2 - v^2\right)}$$

$$\Rightarrow t^2 = \frac{\left(2L^{\backslash}\right)^2}{c^2\left(1 - v^2/c^2\right)} \Rightarrow t^2 = \frac{\left(2L^{\backslash}\right)^2/c^2}{\left(1 - v^2/c^2\right)}$$

$$\Rightarrow t = \frac{2L^{\backslash}/c}{\sqrt{\left(1 - v^2/c^2\right)}}$$

$$t^{\backslash} = \frac{2L^{\backslash}}{C} \qquad \text{---------------------- (2)}$$

**ومن المعادلة (1)**

**نحصل على العلاقة الرياضية بين القياسات الزمنية لكل مراقب.**

$$t = \frac{t^{\backslash}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \gamma . t^{\backslash}$$ **----------- (3)**

**حيث ان :** $\gamma = 1/\sqrt{(1-v^2/c^2)}$

**وتمثل المعادلة رقم (3) معادلة تمدد الزمن حسب النظرية النسبية لاينشتاين:**

**ملاحظات :**

**(1) حيث أن السرعة التي يسير بها القطار لا يمكن ان تصل إلى سرعة الضوء لذا يكون المقدار  اكبر من الواحد :  > 1**

**ولهذا تكون القياسات الزمنية لمراقب O أكبر من \O:  t\<t**

**(2) في حالة السرعات العادية مثل سرعة سيارة او سرعة طائرة أو سرعة صاروخ فإن هذه السرعة تعتبر صغيرة جداً بالمقارنة بسرعة الضوء أي c>>v وهذا يجعل المقام في المعادلة رقم {3} يساوي 1 وتكون هنا القياسات لكلا المراقبين متساوية، بمعنى آخر أن التأخير الزمني لا يمكن قياسه إلا في حالة السرعات التي تقارن بسرعة الضوء.**

**(3) نستنتج أن في حالة السرعات الكبيرة تكون ساعات المراقب المتحرك بالنسبة للحدث تقيس زمن اطول من ساعات المراقب الثابت بالنسبة للحدث.**

**(4) سوف نعتبر الزمن الحقيقي proper time لحدث ما هو الزمن الذي يقيسه المراقب الثابت بالنسبة للحدث.**

**معضلة التوائم :**

**مثال/ التوأم A يقلع في مركبة فضائية عن عمر 20 سنة ليسافر بسرعة ( v = 0.99 c) في الفضاء بالنسبة لتوأمه الاخر B والباقي على الارض . فاذا عاد المسافر بعد 10 سنوات فكم سيكون عمر كل منهما ؟**

**الحل / من المعادلة رقم (3) فان:**

$$t = \frac{t^{\backslash}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \Rightarrow \frac{t}{t^{\backslash}} = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \Rightarrow \frac{t}{t^{\backslash}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0.99^2 c^2/c^2}}$$

$$\Rightarrow \frac{t}{t^{\backslash}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0.99^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0.98}} = \frac{1}{\sqrt{0.02}} = \frac{1}{0.14} = 7$$

**وبما ان حساب العشر سنوات هي من التوأم A الموجود في السفينة اذن سيكون عمر التوأم B على الارض زاد بمقدار ( 70 = 10 X 7) سنة أي سيكون**

**عمر التوأم A = 20 + 10 = 30 سنة**

**عمر التوأم B = 20 + 70 = 90 سنة**

**واجب بيتي/ رائد سفينة فضائية يترك الارض بسرعة ( 0.9 c ) يعمل رحلة ذهاب واياب الى اقرب نجم وهي التي على بعد 4 سنوات ضوئية ، كم سيكون الرائد اصغر من اخيه التوأم الموجود على الارض عند رجوعه ؟ ( اذكر الجواب بالسنة والشهر واليوم )**

**تقلص الطول (تقلص لورنس)**

**نسبية الطول (الإنكماش الطولي):**

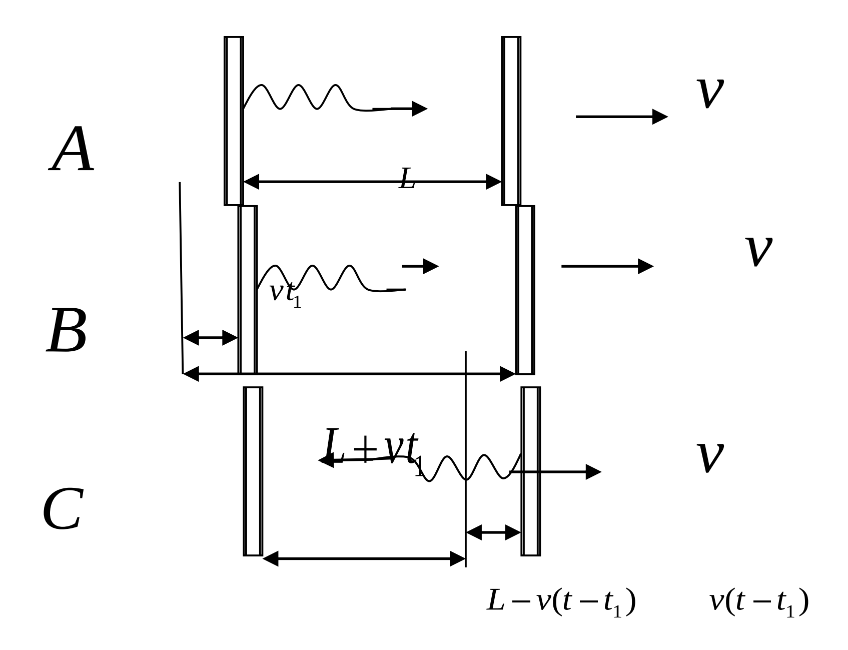
**كما وجدنا في الموضوعات السابقة أن الفترة الزمنية بين حدثين هو نسبي وتعتمد على محاور اسناد المراقب، وكذلك وجدنا أن حدوث حدثين في نفس اللحظة هو امر نسبي أيضاً لان نفس اللحظة لمراقب تكون غير ذلك**

لمراقب آخر متحرك بسرعة بالنسبة للحدثين. في هذا الموضوع سنجد أيضا ان الطول أو المسافة بين نقطتين هي من الأمور النسبية وتعتمد على محاور اسناد المراقب الذي يقيس المسافة.

في البداية سنعرف الطول الأصلي **properlength**على انه الطول الذي يقيسه المراقب الثابت بالنسبة للجسم المراد قياس طوله أو الثابت بالنسبة للنقطتين المراد تحديد المسافة بينهما. ولا يعني الطول الاصلي بأنه المسافة التي يقيسها المراقب بين نقطتين في نفس اللحظة. حيث تثبت النظرية النسبية الخاصة أن الاجسام تنكمش في اتجاه حركتها. وهنا لا نقصد بالانكماش الناتج عن تغير درجات الحرارة أو غير ذلك، وولكن الانكماش هنا يعتمد فقط على سرعة الجسم بالنسبة للمراقب الثابت مهما كانت نوع مادة الجسم.

اشتقاق معادلة تقلص الطول ( تقلص لورنس):

تصور ان هناك ساعة ضوئية مكونة من مراتين المسافة بينهما (L ) موضوعة في مركبة فضائية سرعة هذه المركبة ( v ) بحيث ان الاشارة الضوئية للساعة تسير ذهابا وايابا بموازاة خط سير المركبة الفضائية ( شكل A ادناه ).




**تبدأ الاشارة من المراة الخلفية في زمن مقداره (t = 0 ) وتصل الى المراة الامامية في زمن مقداره (t = t1 ) وبذلك تقطع الاشارة مسافة مقدارها (ct1 )(لماذا؟) ، في حين تبتعد المراة الامامية مسافة مقدارها (vt1 ) خلال نفس الفترة الزمنية ( شكل B اعلاه ). عليه يكون:**

$$ct_1 = L + vt_1 \Rightarrow ct_1 - vt_1 = L \Rightarrow t_1(c-v) = L$$

$$\Rightarrow t_1 = \frac{L}{c-v} ------------------(1)$$

بعد ان تصل الاشارة المراة الامامية تنعكس لتصل المراة الخلفية عند زمن ( t )

وبذلك تقطع مسافة مقدارها { ( c( t-t1 } حيث ان :

$$c(t-t_1)=L-v(t-t_1)$$

حيث { (v(t-t1 }تمثل المسافة التي تقطعها المراة الخلفية نحو الشعاع المنعكس

خلال الفترة الزمنية (t-t1)( شكل C اعلاه ) .

$$c(t-t_1)+v(t-t_1)=L \Rightarrow (t-t_1)(c+v)=L$$

$$\Rightarrow t-t_1=\frac{L}{c+v}$$

$$\Rightarrow t=\frac{L}{c+v}+t_1 \quad \text{.........................................(2)}$$

حيث ان (t) يمثل الزمن الكلي لحركة الاشارة الضوئية ذهابا وايابا

نعوض المعادلة (1) في (2) نحصل على :

$$t=\frac{L}{c+v}+\frac{L}{c-v}=\frac{L(c-v)+L(c+v)}{(c+v)(c-v)}=\frac{Lc-Lv+Lc+Lv}{c^2-v^2}$$

$$=\frac{2Lc}{c^2-v^2}=\frac{2Lc/c^2}{(c^2-v^2)/c^2}=\frac{2L/c}{\frac{c^2}{c^2}-\frac{v^2}{c^2}}$$

$$t=\frac{2L/c}{1-\frac{v^2}{c^2}}\text{.....................................................}(3)$$

**ومن اشتقاق تمدد الزمن عندنا المعادلة (2) وفحواها**

$$t=\frac{2L^{\backslash}/c}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

**عليه ومن تعويضها في معادلة (3) اعلاه نحصل:**

$$\frac{2L/c}{1-\frac{v^2}{c^2}} = \frac{2L^{\backslash}/c}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \frac{L}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = L^{\backslash}$$

$$\Rightarrow L = L^{\backslash}\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \quad \text{..........................................(4)}$$

$$or\ \frac{L}{L^{\backslash}} = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

**والمعادلة رقم (4) تمثل تقلص لورنس**

**ويكون الطول L أقل من الطول\L الذي يقيسه المراقب \O حيث أن المقدار تحت الجذر يكون دائماً أفل من الواحد.**

**مثال:**

**جسم يسير بسرعة ( 0.9c ) ما هي نسبة تقلص طوله الى الطول الاصلي عند السكون؟**

**الحل:**

$$\frac{L}{L^{\setminus}} = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{1-\frac{(0.9c)^2}{c^2}} = \sqrt{1-\frac{(0.9)^2 c^2}{c^2}}$$

$$\Rightarrow \frac{L}{L^{\setminus}} = \sqrt{1-0.81} = \sqrt{0.19} = 0.436$$

$$\Rightarrow \frac{L}{L^{\setminus}} = 0.436 * 100\% = 43.6\%$$

**إذن سيقصر طوله بنسبة 43.6% من طوله الأصلي عند السكون**

**ملاحظة :**

**ان الضوء الذي يصل الكاميرا او العين من اجزاء الجسم البعيدة ينبعث في وقت اسبق من وقت انبعاث الضوء من اجزاء الجسم القريبة ولذلك فان الصورة المتكونة في الكاميرا تكون مركبة.**

**الاشعة الصادرة من اجزاء الجسم المختلفة لتكوّن الصورة في لحظة معينة تصدر من الجسم عندما يكون الاخير في مواضع مختلفة ، هذه الظاهرة تؤدي الى تمدد الطول الظاهري للجسم باتجاه حركته ، ونتيجة لهذا فان جسم ذا ثلاث ابعاد كمكعب يمكن ان يشاهد منحرفا ومتغير الشكل بمقدار يعتمد على زاوية النظر و النسبة (v/c) .**

**وعليه فان شكل جسم متحرك يظهر مختلفا عن شكله في حالة السكون ولكن بطريقة مختلفة.**

**واجب بيتي :**

**سفينة فضائية طولها على الأرض (100 m ) أصبح طولها عند الطيران (99 m ) ، جد سرعة السفينة ؟**

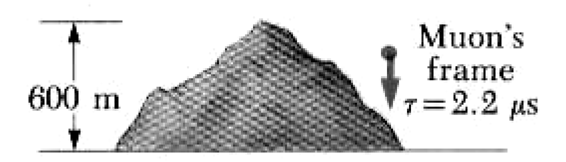
**ظاهرة علمية لم تفسر إلا من خلال التأخير الزمني**

**انحلال الميونات ( الميزونات ):**

**التأخير الزمني ظاهرة حقيقية وتم اختبار صحتها من خلال العديد من التجارب العملية. ونستشهد هنا بالتجربة التي جرت على جسيمات أولية تدعى ميونز muons (الجسيمات الأولية مثل الألكترون والبروتون والنيوترون والكوارك وجسيمات بيتا).**

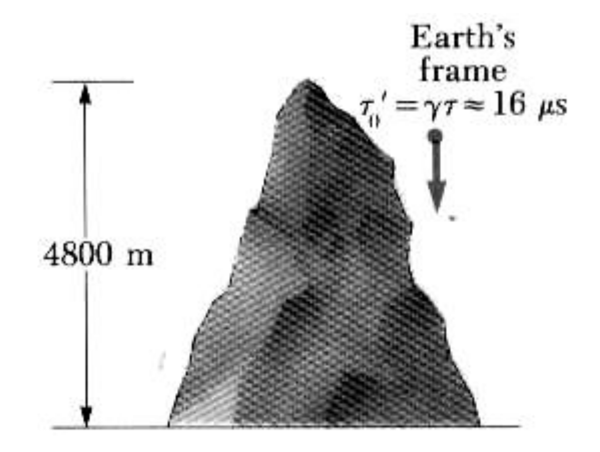
**الميون ( أو الميزون ) هو جسيم غير مستقر من الجسيات الأولية يحمل شحنة تساوي شحنة الألكترون وكتلته تعادل 207 كتلة الألكترون (يتحول إلى الكترون بعد فترة زمنية محددة). تنتج هذه الميونات في طبقات الغلاف الجوي العليا**

**نتيجة لامتصاص الغلاف الجوي الأشعة الكونية. هذه الميونات لها متوسط عمر يساوي (t\ = 2*10-6 s) كما قيست في المختبر وسرعةتقريبا بحدود ( 2.994*108 m/s) أي(0.998 c ) ، أي أن المراقب (العالم في المختبر) الذي حدد زمن بقاء هذه الجسيمات كان ثابت بالنسبة لتلك الجسيمات.**




**فإذا علمنا أن هذه الجسيمات تسير بسرعة قريبة من سرعة الضوء ومن عمر بقائها يمكن حساب المسافة التي يمكن ان تقطعها في الغلاف الجوي باتجاه الكرة الارضية. وهذه المسافة تقدر بـ 600 متر وهذه المسافة قصير جدا بالنسبة لسمك الغلاف الجوي ولا يمكن بالتالي من أن تصل هذه الجسيمات إلى سطح الأرض.**

**y = v t\ = 2.994*108 m/s X 2*10-6 s = 600 m**




**المراصد الأرضية رصدت وجود هذه الميونات على سطح الأرض.. السؤال الآن كيف وصلت هذه الميونات إلى سطح الأرض وهذا يعني أنها قطعت مسافة 4800 متر مما يتعارض مع كون عمرها (2*10-6) ثانية تقريبا.**

**ظاهرة التأخير الزمني لديها الحل في تفسير وصول هذه الجسيمات لسطح الأرض حيث أن الجسيمات تسير بسرعة قريبة من سرعة الضوء فإن زمن بقائها يكون أطول بالنسبة للمراقب على الأرض وبالتعويض في معادلة تقلص الطول (معادلة 4) يكون عمر الميونات بالنسبة للمراقب على الأرض**

**16 ميكروثانية. وهذا يفسر وصول تلك الميونات إلى سطح الأرض.**

$$\frac{y}{y^{\backslash}}=\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow y^{\backslash}=\frac{y}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}=\frac{600m}{\sqrt{1-\frac{(0.998c)^2}{c^2}}}=\frac{600m}{\sqrt{1-\frac{0.996c^2}{c^2}}}=\frac{600m}{\sqrt{1-0.996}}$$

$$=\frac{600m}{\sqrt{0.004}}=\frac{600m}{0.063}=9500m$$

**وعليه بالرغم من قصر عمر الميونات يمكن لهذه الجسيمات ان تصل سطح الارض من ارتفاعات عالية جدا.**

**تجارب أخرى جرت على الميونات في العام 1976 في مختبرات CERN بجنيفا وذلك بتعجيل ميونات منتجة في المختبر إلى سرعات تصل إلى 99% من سرعة الضوء وتم قياس عمر بقاء هذه الميونات قبل أن تتحول إلى الكترونات وكانت نتائج القياسات منطبقة تماماً مع معادلة التأخير الزمني.**

**نسبية اللحظة:**

لاحظنا في الموضوع السابق أن الزمن نسبي ويعتمد على محاور اسناد المراقب بالنسبة للحدث كما وان المراقب المتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء بالنسبة للحدث يجد أن الزمن المقاس يتباطئ عنه بالنسبة للمراقب الثابت بالنسبة للحدث. وهذا يعود إلى الفرضية الثانية للنظرية النسبية في ثبات سرعة الضوء في كافة الأتجاهات.في الموضوع الحالي سوف نتعرض إلى موضوع جديد وهو نسبية اللحظة أو الآنية.. فكثيراً ما نقول أن حدثين ما قد حدثا في نفس اللحظة وهذا لا يختلف عليه اثنان كان يرصدا هذين الحدثين.

ولكن آينشتين من خلال نظريته النسبية يبين لنا أن ذلك نسبياً أيضأ فحدثين آنيين بالنسبة لمراقب (الفارق الزمني بينهما صفر) قد يكون غير ذلك بالنسبة لمراقب متحرك. ولتوضيح ذلك نأخذ المثال التالي:

**مثال:**

لنفترض قطار طويل جدا يبلغ طوله (5400000 كيلومتر) يسير في خط مستقيم بسرعة منتظمة تبلغ (240000 كيلومتر في الثانية). ولنفترض ان مصباحاً ضوئيا اوقد في منتصف القطار في اللحظة الزمنية التي تقابل فيها المراقب O' داخل القطار والمراقب O على الرصيف.

ولنفترض أنه يوجد باب الكتروني في مقدمة القطار وباب آخر في مؤخرة القطار يفتحا تقائيا عند وصول النبضة الضوئية. ما الذي سيراه كلا من المراقب O' داخل القطار والمراقب O خارج القطار.

بما أن الضوء ينتشر في الفراغ بسرعة ثابتة وهي 300000 كيلومتر في الثانية لكل المراقبين مهما بلغت سرعتهم بالنسبة لبعضهم البعض  أو بالنسبة للضوء.

بداية الحدث انطلاق الضوء من المصباح المثبت في وسط القطار.

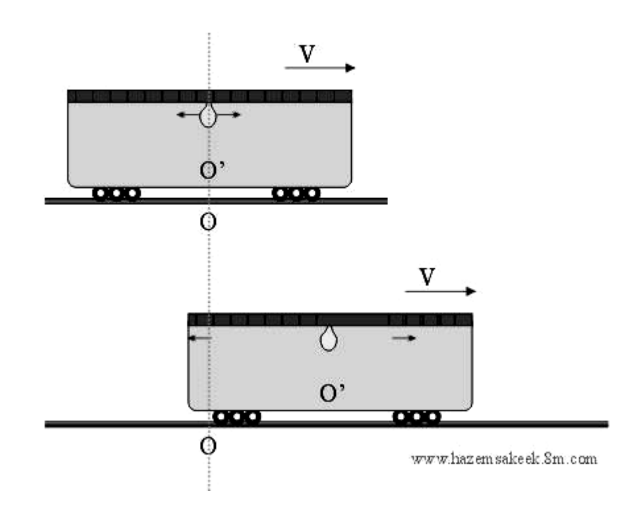
نهاية الحدث وصول الضوء إلى باب القطار الأمامي والخلفي.

وصف ما يراه المراقب الثابت \O:

حيث أن المراقب \O هو المراقب الثابت بالنسبة للحدث لأن مكانه لم يتغير بين بداية الحدث ونهايه، لذا فإنه سيرى أن الباب عند مقدمة العربة سيفتح في نفس الوقت الذي يفتح فيه الباب عند مؤخرة العربة أي ان البابين

يفتحا في نفس اللحظة بالنسبة للمراقب \O. ويقيس الفترة الزمنية لوصول النبضة الضوئية للباب الأمامي بقسمة نصف طول القطار على سرعة الضوء فتكون النتيجة تسعة ثواني وكذلك الحالة للزمن المقاس للنبضة الضوئية لتصل إلى الباب الخلفي.

وبهذا يرى المراقب \O أن البابين يفتحا معا بعد 9 ثواني.....(لماذا؟)




**قياسات المراقب المتحرك O:**

**المراقب O يرى الحدث بطريقة مختلفة فالضوء ينتشر بالنسبة له بسرعة ثابتة**

**ن الباب الخلفي يقترب من الضوء في حين الباب**

**الأمامي يبتعد عنه بسرعة القطار (240000 كيلومتر في الثانية). ولهذا يرى المراقب O أن الباب الخلفي يفتح أولاً ثم بعد فترة زمنية يفتح الباب الأمامي دلالة على أن الضوء وصله. وبالتالي لا يكون حكمه على الحدث أنه في نفس اللحظة.**

**المراقب O يقيس الزمن اللازم لوصول النبضة الضوئية للباب الخلفي زمن الوصول للباب الخلفي**

$$= \frac{5400000/2}{300000 + 240000} = 5\sec$$

**ويقيس الزمن اللازم لوصول النبضة الضوئية للباب الأمامي =**

**زمن الوصول للباب الأمامي**

$$= \frac{5400000/2}{300000 - 240000} = 40\sec$$

**إذا فسيبدو للمراقب O على الرصيف أن بابي القطار لم يفتحا في نفس اللحظة. ففي البداية سيفتح الباب الخلفي للقطار بعد زمن 5 ثواني من انطلاق النبضة الضوئية بينما الباب الأمامي فلن يفتح إلا بعد مضي(5-45 =40) 40 ثانية.**

**وبهذا فإن الحدثين المماثلين، أي فتح بابي القطار الامامي والخلفي لمراقب يكونا في آن واحد. أما لمراقب آخر فإنهما يبدوان منفصلين بفترة زمنية.**

**تحويلات لورنس :**

لنفترض اننا في مرجع s نرى حدثا يقع في اللحظة t عند النقطة x , y ,z .....

ومشاهد اخر في المرجع \s يتحرك بسرعة ثابتة مقدارها v بالنسبة ل s ، يرى نفس الحدث في اللحظة \t والنقطة \x\ , y\ , z .

وبعد الاشتقاق نجد ان العلاقة التي تربط بين ( \x\ , y\ , z\ , t ) و ( x , y , z , t ) هي :

$$x^{\backslash} = \frac{x + vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

**y\ = y**

**z\ = z**

$$t^{\backslash} = \frac{t + \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

**هذه التحويلات تسمى تحويلات لورنس:**

**مقلوب تحويلات لورنس :**

ولايجاد العلاقات التي تربط بين القياسات المأخوذة في المرجع s بدلالة القياسات في s\ نحصل بعد الاشتقاق على مايسمى مقلوب تحويلات لورنس الآتية :

$$x = \frac{x^{\prime} + vt^{\prime}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$y = y^{\prime}$$

$$z = z^{\prime}$$

$$t = \frac{t^{\prime} + \frac{vx^{\prime}}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

**جمع السرع :**

احدى فرضيات النسبية الخاصة تنص على ان سرعة الضوء c في الفراغ تاخذ نفس القيمة بالنسبة لجميع المراجع ، من غير ان تعتمد على سرع المراجع النسبية . ومن ناحية اخرى تشير توقعاتنا الحدسية الى ان كرة تقذف بسرعة ( 20 m/s الى الامام) من سيارة متحركة بسرعة (50 m/s الى الامام) تكون سرعتها بالنسبة للارض ( 70 m/s) أي انها تساوي مجموع السرعتين .

**وحسب هذا التقدير ، اذا كانت سرعة شعاع ضوئي باتجاه حركة المرجع \s ، والمتحرك بسرعة v بالنسبة لمرجع ثاني s ، هي c فان سرعة الشعاع بالنسبة للمرجع s يجب ان تساوي c + v . لذلك لا تتفق تقديراتنا الحدسية في جميع الظروف مع الفرضية الثانية للنسبية الخاصة ! ولايجاد الصيغة الصحيحة لجمع السرع وباستخدام تحويلات لورنس نحصل على :**

$$V_x = \frac{V_x^{\backslash} + v}{1 + \frac{vV_x^{\backslash}}{c^2}}$$

$$V_y = \frac{V_y^{\backslash}\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{vV_x^{\backslash}}{c^2}}$$

$$V_z = \frac{V_z^{\backslash}\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{vV_x^{\backslash}}{c^2}}$$

**مثال/ أفترض ان شعاعا ضوئيا ينبعث باتجاه \x بسرعة c بالنسبة للمرجع \s ، جد سرعة الشعاع بالنسبة للمرجع s ؟ الحل/ في هذه الحالة Vx\ = c من المعادلة اعلاه نستطيع ان نجد Vx وتساوي:**

$$V_x = \frac{V_x^{\backslash} + v}{1 + \dfrac{vV_x^{\backslash}}{c^2}}$$

$$= \frac{c + v}{1 + \dfrac{vc}{c^2}}$$

$$= \frac{c(c + v)}{c + v} = \mathbf{c}$$

**أي ان سرعة الضوء في كلا المرجعين لها نفس القيمة:**

**مثال/ صاروخك الفضائي يجتاز بسرعة 0.6c سفينة فضائية تسير بالنسبة للارض بسرعة 0.9c ، جد سرعة صاروخك الفضائي بالنسبة للارض؟**

**الحل/**

$$= \frac{0.5c + 0.9c}{1 + \dfrac{(0.9c)(0.6c)}{c^2}}$$

$$= \frac{1.4c}{1 + \dfrac{0.54c^2}{c^2}}$$

$$= \frac{1.4c}{1.54} = \mathbf{0.9091c}$$

$$V_x = \frac{V_x^{\backslash} + v}{1 + \dfrac{vV_x^{\backslash}}{c^2}}$$

**ظاهرة دوبلر:**

ظاهرة دوبلر من الظواهر الفيزيائية المعروفة والتي نلاحظها في حياتنا العملية حينما تمر سيارة إسعاف أو سيارة الإطفاء مسرعة وبينما يصدر عنها صوت الإنذار فإننا نسمع ترددات مختلفة بينما تكون السيارة مقتربة منا او مبتعدة عنا وهذا الصوت يختلف تردده عن التردد الذي يسمعه سائق السيارة لأنه يكون ثابت بالنسبة للصوت، ومن هذا يمكن تعريف ظاهرة دوبلر على إنها إزاحة للتردد نتيجة للحركة النسبية بين المصدر والمراقب. فعندما يكون المصدر مقترب من المراقب يكون التردد المقاس أعلى من التردد الأصلي أي مزاح ناحية الترددات الأعلى بينما يكون التردد اقل من التردد المقاس أي مزاح ناحية الترددات الأقل إذا كان المصدر مبتعدا عن المراقب. وظاهرة دوبلر تعتمد على السرعة النسبية بين المصدر والمراقب.

إذا كنا نتعامل مع تردد الأمواج الصوتية الصادرة عن حركة سيارة او طائرة حيث تكون السرعات اقل بكثير من سرعة الضوء فإننا نتحدث عن ظاهرة دوبلر الكلاسيكية أما إذا كنا نتعامل مع الأمواج الكهرومغناطيسية التي تنتشر بسرعة الضوء فإننا نتحدث عن ظاهرة دوبلر النسبية..

ظاهرة دوبلر النسبية:

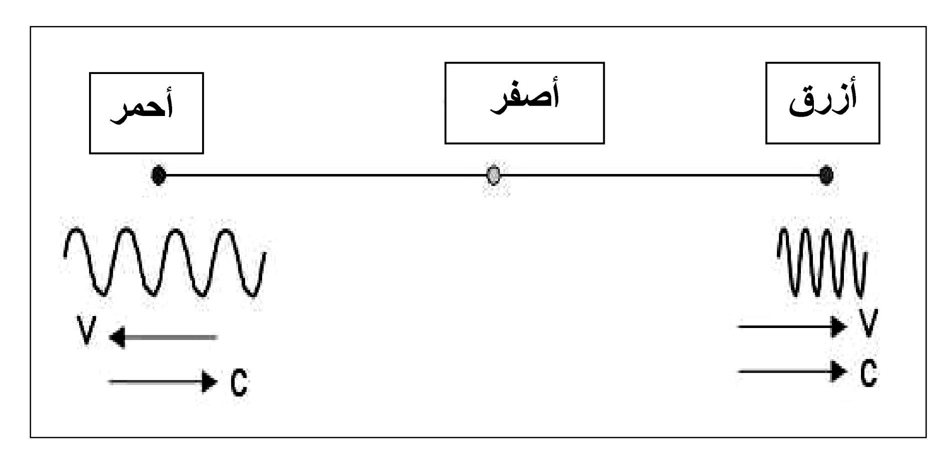
يستخدم الفلكيون ظاهرة دوبلر في قياس سرعة النجوم والمجرات بالنسبة للأرض وإذا كانت مقتربة منا أو مبتعدة عنا من خلال قياس تردد الأشعة الكهرومغناطيسية الصادرة عن النجوم ومقارنتها بتلك الترددات الصادرة عندما تكون في المختبر أي ثابتة بالنسبة للمراقب.

في حالة التعامل مع سرعات قريبة من سرعة الضوء فإن ظاهرة دوبلر الكلاسيكية لا تأخذ في الحسبان فرضيات النظرية النسبية في ان سرعة الضوء ثابتة بالنسبة لجميع محاور الاسناد. ولهذا سنقوم باستخدام معادلات التغير في التردد في حالة السرعات الكبيرة .

تجربة عملية للتوضيح :

عند قياس التردد الأصلي للمبة الصوديوم في المختبر (اللمبة التي تستخدم لإنارة الطرق في الليل والتي يكون الضوء المنبعث عنها بين الأصفر والبرتقالي). فإذا ما ثبتت اللمبة على مركبة فضائية مبتعدة عنا بسرعة قريبة من سرعة الضوء فإن ترددها المقاس سوف يكون اصغر من التردد الأصلي

**ويكون لون الضوء المنبعث في هذه الحالة قريبا من اللون الأحمر. أما إذا كانت المركبة الفضائية مقتربة منا فإن الضوء المنبعث عنها يكون ذو لون ازرق وهذا يعود إلى ان التردد المعدل اكبر من التردد الأصلي.**




**إذا كان المصدر مقترباً منا فإن التردد المقاس يكون اكبر من التردد الأصلي ويحدث ما يسمي بالانزياح ناحية الأزرق Blue Shift أي يزاح اللون ناحية الترددات الأعلى.**

**وإذا كان المصدر مبتعد عنا فإن التردد المقاس يكون اقل من التردد الأصلي ويحدث ما يسمى بالانزياح ناحية الأحمر Red Shift أي يزاح اللون ناحية الترددات الأقل.**

**وهذا ما يحدث في الطبيعة حيث يوجد نجم الكويزار Quasar**

وهو نجم بعيد جداً يبتعد عنا بسرعة كبيرة فإذا ما كان الضوء المنبعث من النجم ناتج عن احتراق غاز الهيدروجين ومن المعروف أن الطول الموجي لطيف الهيدروجين مقاس في المختبر بدقة. فإذا ما قورن بالطول الموجي القادم من نجم الكويزار والمقاس بواسطة التلسكوبات الأرضية فقد وجد أن التردد المقاس إلى التردد الأصلي في المختبر كالنسبة 1\3 وهذا يعني أن التردد المقاس اصغر من التردد الأصلي أي ان النجم مبتعد عنا وأن سرعة النجم في عكس سرعة الضوء القادم لنا أي أن نجم الكويزار يبتعد.

عندما يكون المصدر مقترباً من المراقب فان:

$$\frac{f}{f^{\backslash}} = \frac{\lambda^{\backslash}}{\lambda} = \frac{1+B}{\sqrt{1-B^2}} = \sqrt{\frac{1+B}{1-B}}$$

عندما يكون المصدر مبتعدً عن المراقب فان:

$$\frac{f}{f^{\backslash}} = \frac{\lambda^{\backslash}}{\lambda} = \frac{1-B}{\sqrt{1-B^2}} = \sqrt{\frac{1-B}{1+B}}$$

حيث أن f= التردد ، $\lambda$= الطول الموجي ، B = v/c

نسبية الكتلة :

إن قياسات الكتلة كما هو لقياسات الطول و الزمن تعتمد على السرعة النسبية بين المشاهد وما هو تحت المشاهدة.

**وان كتلة جسيم متحرك (m) بسرعة (v) بالنسبة لمشاهد تكون اكبر من كتلته السكونية (mo)بنسبة( $\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ )...... أي ان ( m > mo )**

**وعليه فان علاقة كتلة جسم متحرك بكتلته السكونية هي :**

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

**فمثلا صاروخ منطلق بالنسبة للأرض يبدو اقل طولا وأكثر كتله من صاروخ مشابه له ثابت على الأرض.**

**قانون حفظ الزخم في النسبة الخاصة هو:**

$$mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

**إن القوة المسلطة على جسم دائما تساوي سرعة تغير زخمه.**

**يمكن ملاحظة الزيادة النسبية في الكتلة فقط عندما تقترب سرعة الجسم من سرعة الضوء.**

**أكتشف بوهر في عام 1908 بان نسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته (e/m)هي اصغر للالكترونات السريعة مما هي عليه للالكترونات البطيئة.**

**ان كتلة البروتون هي ( $mp = 1.67 * 10^{-24}g = 1.67 * 10^{-27}kg$ ).**

**ان كتلة الإلكترون هي ( $me = 9.1 * 10^{-28}g = 9.1 * 10^{-31}kg$ ).**

**علاقة الكتلة بالطاقة:**

**اذا كانت الطاقة الحركية للجسم(T) و الطاقة السكونية له هي($E_o=m_oc^2$)**

**والطاقة الكلية هي($E=mc^2$) فان:**

$$E = E_o + T$$

**&**

$$T = E - E_o = mc^2 - m_oc^2 = ( m - m_o ) c^2$$

**أن المعادلات أعلاه تنص على أن الطاقة الحركية(T) للجسم تساوي الزيادة في كتلته (نتيجة الحركة) مضروبة في مربع سرعة الضوء.**

بالإضافة الى اشكال الطاقة المتعارف عليها كالطاقة الحركية والكامنة والكهرومغناطيسية والحرارية ، هذه الطاقة يمكن ان تظهر على شكل كتلة .

ثابت التناسب بين الطاقة المقاسة بالجولات والكتلة المقاسة بالكيلوغرامات هو c2 أي 2(108*3) أي (1016*9) .

أي ان كتلة كيلوغرام واحد من المادة نحوي على طاقة مقدارها (J 1016*9) حتى ان جزءً صغيرا من المادة يكافئ كمية هائلة من الطاقة . وفي الحقيقة ان تحويل المادة الى طاقة هو مصدر الطاقة المتحررة من التفاعلات الكيميائية والفيزيائية .

وبما ان الكتلة والطاقة كميتان يعتمد بعضهما على بعض فان قانون حفظ الطاقة وقانون حفظ المادة هما في الحقيقة قانون واحد (( يمكن خلق او فناء كتلة على شرط ان تفنى او تخلق كمية مكافئة من الطاقة في نفس الوقت او بالعكس )). أي ان الكتلة والطاقة هما مظهران لنفس الشيء.

عندما تكون السرعة (v) واطئة بالنسبة لسرعة الضوء (c) فان الطاقة الحركية للجسم يجب ان تاخذ الصيغة المعتادة (T = 1/2 mv2).

# الفصل السابع
# النَّظريَّة النِّسبيَّة الخاصَّة

علم الميكانيك هو ذلك العلم الذي نراه أينما نظرنا على الأرض في السماء وفي أجسامنا أيضاً وقد استمرَّ علم الميكانيك محدوداً حتى ولادة شيءٍ جديد اسمه النظرية النسبية حيث قلبت موازين الميكانيك رأساً على عقب و أظهرت شذوذاً خارقة للطبيعة سواءً في سرعة الضوء أو في تمدد الزمن وارتباط الكتلة بالطاقة ... ينقسم الميكانيك إلى ميكانيك كلاسيكي تحكمه قوانين نيوتن بشكل أساسي وميكانيك نسبي تحكمه قوانين النظرية النسبية و الفرق بينهما أن الميكانيك النسبي يتعلق بالسرعات الهائلة ما يقارب سرعة الضوء أما الميكانيك الكلاسيكي فيتعلق بالسرعات الصغيرة و المتوسطة التي تحصل في الحياة اليومية كسرعة سيارة مثلاً لذا لا يمكن تطبيق قوانين النسبية على سيارة بسرعة عادية و بالمقابل لا يمكن تطبيق قوانين الحركة التي تطبق على السيارة ونستعملها لجسم يتحرك بسرعة الضوء لأنه جسم نسبي في هذه الحالة ، و لكن ضمن تقريب السرعات الصغيرة تتطابق قوانين نيوتن مع النسبية.تعتبر النظرية النسبية الخاصة التي وضعها العالم أينشتاين في عام 1905 أساسا لكل علوم الفيزياء الحديثة و التكنولوجيا المتقدمة و تعتبر من أعظم الإنجازات العلمية للعقل البشري.

**إشكالية البحث:**

**من أهم أشكال النظرية النسبية تمدد الزمن و هكذا إن هناك علاقة ما بين النسبية والسفر بين الأزمان ،فهل يمكن السفر وتكرار حدث ما؟؟؟**

**ما مدى صحة الموضوع كتجربة؟؟؟**

**إننا في الحاضر ولكننا إن ذهبنا إلى الوراء وغيرنا الأحداث فهل يتغير فعلاً ويؤثر على الواقع ؟؟؟**

**وبما أننا لم نتمكن حتى الآن من جعل جسم يتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء ،كيف يمكننا الاستفادة من النظرية النسبية ؟؟؟**

**و في دراستنا للنظرية النسبية سوف نتعرض لمفهوم الطول و الزمن و السرعة و كمية الحركة و الطاقة وانية حدوث الأشياء وهي بالطبع تختلف عن المفاهيم التيسبق و أن أتت بها الميكانيكا الكلاسيكية فليس هناك طول مطلق أو زمن مطلق عند نيوتن.**

**شرح النظرية النسبية الخاصة**

## المبحث الأول: مبادئ النظرية النسبية

سميت النظرية بالنسبية الخاصة لأنها تتعلق بالقوانين الطبيعية المطبقة في مناطق تتحرك بحركات منتظمة ،فخصصت الحركات بالانتظام . أو قيدت بالانتظام لذا تسمى أحياناً ((بالنظرية النسبية المقيدة)) ويمكن وضع هذه الأسس تحت مبدأين هامين هما:

المبدأ الأوّل: إن سرعةالضوءثابتة في جميع اتجاهات الفضاء ولها القيمة نفسها بالنسبة لجميع المراقبين،ولا تعتمد على الحركة النسبية بين المراقب ومصدرالضوء. ومعنى ذلك أنه يمكننا أجراء تجربة فيزيائية معينة في مكان ساكن ونحصل على نفس النتائج تماما لو كان هذا المكان متحرك بسرعة منتظمة، طالما أننا طبقنا نفس القوانين الفيزيائية في الحالتين. ويعرف هذا المبدأ بمبدأ نسبية الحركة و هو يعتبر أساس للميكانيكا الكلاسيكية.

المبدأ الثاني: سرعة الضوء في الفراغ مقدار ثابتة لا تعتمد على المرجع القصوري أو على المصدر أو على الراصد.

أي بمعنى أن قوانين الفيزياء تأخذ الشكل نفسه في جميع هياكل الإسناد العطالية ،حيث أن السرعة والاتجاه ثابتين

.فكل قانون يتم إثباته في هيكل إسنادعطالي يكون صحيحًا في أي هيكل عطالي آخر و هو أساس الاختلاف بين الفيزياء الكلاسيكية و الفيزياء الحديثة.

قبل مجيء النظرية النسبية كان يفترض وجود زمان ومكان مطلق ولهما القيمة نفسها بالنسبة إلى جميع المراقبين وقد برهن آينشتاين على أنه لا يمكن اعتبارالزمان والمكان شيئين مستقلين عن بعضهما وعن المراقب، بسبب ثبات سرعة الضوء في جميع الأوساط.

و هنا تشكلت لدينا الأبعاد الأربعة حيث الأبعاد المكانية معروفة الطول و العرض و الارتفاع أما البعد الرابع فهو البعد (الزماني) وهذه الأبعاد لتعيين هيكل إسنادي عطالي.

الضوء ينتشرعلى شكل أمواج و بقيت مشكلة هي أن الضوء ينتقل لذلك افترض العلماء مادة سموها الأثير( Ether) وبينما كانوا يتحدثون عن الأثيركان لابد من إثبات وجوده والفكرة بسيطة :إذا كان الأثيرموجودًا فلابد للأرض أن تنتقل خلاله كما تنتقل الطائرة خلال الهواء، أي بتشبيه الأثير بالهواء يجب تواجد نوع من الرياح الأثيرية حول الأرض ، وإذا طبقنا قوانين نيوتن على الضوء فإن سرعةالضوء سوف تكون أعظم فيما لوكان الضوء يتجه نحوالناظر.

إنَّ هذين القانونين هما القانونان الرئيسيان في النظرية النسبية وتقوم عليهما هذه النظرية العميقة.

**المبحث الثاني: تباطؤ الزمن**

لقد استطاع العالم أينشتاين في بدايات القرن السابق (1905) من وضع النظرية النسبية التي استطاعت أن تزيل تلك المتناقضات التي نشأت من قصور النظرية الكلاسيكية.وتعد هذه النظرية واحدة من أعظم الإنجازات في القرن العشرين. وقد اشتهرت هذه النظرية بصعوبتها و في الواقع هذه الصعوبة لا ترجع إلى صعوبة المعالجة الرياضية لموضوعات هذه النظرية و لكن يرجع إلى وجوب إعادة النظر في مفاهيمنا عن الكثير من الأشياء مثل الزمن و الحركة و السكون و السرعة ...

لنفرض وجود هيكلين عطاليين(جسمان لكل منهما ثقل معين) نسبة السرعة بينهما تقارب سرعة الضوء فهنا يتباطأ الزمن بمعدل معامل الانكماشB :

$$B = \sqrt[2]{1 - \frac{V^2}{C^2}}$$

حيث Vسرعة الجسمين أما C فهي سرعة الضوء التي تساوي حوالي Km/h300000000

مثال: عند سفررائد فضاء إلى نجم بعده 12.5 سنة ضوئية بسرعة ثابتة تساوي 0.999من سرعة الضوء ثم العودة إلى الأرض يكون قدمضى على الأرض 25 سنة، ولكن عمر رائد الفضاء يكون قد زاد بمقدار سنة واحدة.

وهكذا نجد أنَّ هناك علاقة وثيقة بين سرعة الضوء و تباطؤ الزمن وهي علاقة سببية حيث أن حركة الجسم بسرعة تقارب سرعة الضوء تؤدي إلى أشياء عديدة منها تباطؤ الزمن .

المبحث الثالث: تغيرات الطول والكتلة

تخيل أنَّك مسافر في قطار تصل سرعته إلى 80% من سرعة الضوء مثلاً سوف ترى رصيف محطة القطار أقصر مما يراه الواقف على الرصيف وكذلك الواقف على الرصيف سوف يرى القطار أقصر مما تراه وأنت تركب القطار وهذا ما يعرف بتقلص الطول إذاً يمكن أن نقول إن انطلاق جسم ما بسرعة قريبة من سرعة الضوء ينتج عنها تقلص في الطول بالنسبة للجسم المنطلق، وتقلص الطول أو هذا الانكماش الظاهري لطول الجسم المتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء يعد من تنبؤات النظرية النسبية الخاصة.

**يتقلص الطول بمقدار الجداء بالعامل B، وتعرف هذه الظاهرة بتقلص لورنتز،ويعطى بالعلاقة التالية:**

$$\mathbf{L = L'.B}$$

$$B = \sqrt[2]{1 - \frac{V^2}{C^2}}$$

**L: الطول في هيكل إسنادي متحرك بالسرعةv .**

**L: الطول مقاسا في هيكل إسنادي أخر.**

**استطاع العالم لورنتزفي عام 1903 من وضع صياغة جبرية تحدد مقدارهذا الانكماش حيث السرعة تساوي سرعة الضوء.**

**لقدأصبح من الضروري إدخال معدل الانكماش هذا عند تحويل القياسات من منظومة مرجعية إلى أخرى عند تحرك الجسم بسرعة مقاربة لسرعة الضوء.**

**وهذا الانكماش الخفي هوالسبب في بقاء سرعة أشعة الشمس ثابتة سواء أكانت حركة الأرض في اتجاه الشمس أوتبتعدعنها.**

**تنبأت النظرية النسبية بأن الكتلة ليست ثابتة، ولكنها تزداد مع زيادة السرعة النسبية بين الكتلة والراصد وفقا للعلاقة التالية:**

$$M=\frac{M\prime}{\sqrt{I-\frac{V^2}{C^2}}}$$

**ومن ذلك يتبين أنه لايمكن لجسم عطالي - حتى لو كانت كتلته صغيرة كالإلكترون- أن يتحرك بسرعة الضوء لأن كتلته تصبح لانهائية .**

**وتقتصرهذه السرعة على الجسيمات عديمة الكتلة كالفوتونات على سبيل المثال.**

**المبحث الرابع: E=M.C2**

**E=M.C2 علاقة شهيرة في الفيزياء النسبية وضعها ذلك العبقري الرائع أينشتاين و شكلت لغزاً محيراً للعلماء و الفيزيائيين وككل النظريات فقد قام أينشتاين باستنتاج هذه العلاقة بدءاً من فرضية و انتهاءً باستنتاج صحيح نسبياً.**

**ويمكن شرح هذه العلاقة بالمثال الآتي: في الانشطار النووي تكون كتلة مجموع القوى الناتجة عن هذا الانشطار أقل من كتلة المواد الداخلة في الانشطار وترتبط الطاقة الناتجة Eعن الانشطار بفرق الكتلةm∆ وفق العلاقة:**

وقد بين هذا القانون مصدرطاقة الشمس لأنها لو كان لها مصدر طاقة لكانت قد بردت منذ طويل ولكنها لا تبرد بسبب تحولات المادة إلى طاقة، وها هنا جاءت فكرة القنبلة الذرية حيث تستمد طاقتها من المواد التي بداخلها وكانت فتحاً كبيراً في فيزياء الطاقات العالية.

لا يوجد جسم عطالي وصل إلى سرعة الضوء حتى الآن ولذا فإن هذه الفرضية غير مثبتة تجريبياً و لا يمكن الحكم بصحتها عملياً لأنَّ الجسم الذي يتحرك بسرعة الضوء تتناقص كتلته حتى تنعدم.

المبحث الخامس: $P=m.v$

و تسمى m في هذه الحالة بالكتلة النسبية للجسم، و حسب التعريف تكون الكتلة النسبية هي تلك الكمية الفيزيائية التي يجب ضربها في متجه السرعة v لكى تعطى متجه كمية الحركة P.

**بشرط أن يكون مجموع كمية الحركة $\Sigma$ P لنظام معزول كمية ثابتة (محفوظ). و لقد وجد انه لكى نحافظ على قانون بقاء كمية الحركة صالحا في الفيزياء النسبية يستلزم أن نطبق تحويلات لورنتز للسرعة و يجب أيضا أن تؤول كمية الحركة النسبية العلاقة (1) الى كمية الحركة الكلاسيكية والتي تعطى من:**

$$\vec{P} = m_0 \; \vec{v}$$

**حيث m0 هي الكتلة عند سرعات صغيرة حيث( v < C ) و ذلك بتطبيق مبدأ التناظر أو بمعنى آخر (الدليل الذي يرشدنا عن الطريقة التي تتناظر بها النظرية التي ندرسها مع النظرية الأقل عمومية) وينص على أن:(أي نظرية فيزيائية جديدة أيا كانت مواصفاتها لابد وأن تؤول إلى النظرية الأقل عمومية منها كحالة خاصة من الأولى). ولكي يتحقق ذلك سوف نكون أمام خيار و حيد و هو مبدأ الكتلة النسبية، أي بصدد التعامل مع كتلة الجسم على أنها كمية ليست ثابتة ولكنها تعتمد بطريقة ما على سرعة الجسم و تتغير بتغيرها.**

**أبعاد النظرية النسبية**

**المبحث الأوَّل: نيوتن وأينشتاين أين يتفقان وكيف يختلفان؟**

**إن ميكانيك أينشتاين النسبي أوجد لكي يجد حلولاً لظواهر غريبة كتمدد الزمن على سبيل المثال و تمدد الزمن الذي ينافي قوانين نيوتن يوافق النسبية تماماً.**

**القوانين الرئيسية لنيوتن هي الجاذبية الأرضية وقوانين الميكانيك الأول والثاني والثالث الشهيرة وينص الأول على أنَّ الأجسام متحركة بسرعة ثابتة تبقى على حالها مالم تؤثر عليها قوى خارجية، وينص الثاني على أنَّ مجموع محصلات القوى المؤثرة على جسم تساوي الكتلة بتسارع الحركة أما الثالث فينص على أن لكل فعل رد فعل مساوٍ له بالقوة ومعاكس له بالاتجاه.**

**يمكننا إعادة صياغة قانون نيوتن الثاني من وجهة نظرالنظرية النسبية الخاصة. حيث ينص هذا القانون على أن مقدارالتغيرفي كمية الحركة يساوى القوة المؤثرة.**

$$F = \frac{dP}{dt} = \frac{dmv}{dt}$$

ومن وجهة نظرالفيزياء الكلاسيكية أن السرعة هي فقط التي تعتمد على الزمن ولكن من دراستنا السابقة للنظريةا لنسبية وجدنا أن كل من السرعة والكتلة تتغيرمع الزمن،ولذلك تأخذ المعادلة السابقة الشكل التالي (من وجهة نظر النسبية):

$$F = m\frac{dv}{dt} + v\frac{dm}{dt}$$

ولنفرض أننا أردنا الانتقال ما بين قوانين نيوتن وأينشتاين وجب علينا أن نغير العناصر البنيوية الأساسية التي يتألف منها قوانين العالم الذي تنطبق عليه فمن العبث مثلاً أن نبحث عن تفسير لظاهرة اضطرابات حركة القمر عن طريق النسبية. ولنعرض الفرق بين نسبية يوتن ونسبية أينشتاين حيث قصد نيوتن عدم تغير القوانين الميكانيكية في أي منطقة عن الأخرى أما أينشتاين فقد قصد عدم تغير قوانين الطبيعة إطلاقاً ميكانيكية أو ضوئية أو كهربائية أو حتى مغناطيسية .

المبحث الثاني: البعد الرابع ... الزمنT

فسرت النظرية النسبية العديد من الظواهر من مثل تمدد الزمن عند المسير بسرعة تقارب سرعة الضوء حيث يتباطأ الزمن عند التحرك بهذه السرعات فالوقت المقاس يختلف باختلاف الأطر المرجعية كما تختلف الفترات الزمنية بين حدثين.

**الأدلة التجريبية على حقيقة تمدد الزمن:**

**استطالة الوقت ظاهرة حقيقية تم التحقق من وجودها بالعديد من الأدلة لعل من أبرزها**

**1- وجود الميونات muons على سطح الأرض. و الميونات هي جسيمات أولية غير مستقرة لها شحنة تساوى شحنة الإلكترون و كتلتها أكبر**

**من كتلة الإلكترون ب 207 مرة و تنتج من الأشعة الكونية في طبقات الجو العليا و فترة عمر النصف لها 2.2 ميكروثانية إذا قيست بساعة في إطارها المرجعي (أي ساعة تتحرك مع الميونات).**

**إذا قسنا فترة عمر النصف بساعة على الأرض سنجد أنها تساوي$\gamma$ t و بذلك تكون فترة عمر النصف طبقا للساعة الأرضية 15.59 ميكروثانية والمسافة التى يقطعها الميون خلال تلك الفترة هي 4631.82 m و هي مسافة كافية لكى يصل إلى سطح الأرض قبل أن تتحول كتلته إلى طاقة.**

**قام العالمان جوزيف هافل و ريتشارد كيتنج بوضع مجموعة من الساعات الذرية، و الساعة الذرية هي ساعة تصل دقتها إلى 1012 من الثانية و هي تستخدم كمقياس معيارى للوقت و تستخدم فيها ذرات السيزيوم داخل طائرة ركاب.**

و طافت هذه الطائرة مرتين حول الأرض و كان الهدف من ذلك هو اختبار صحة ظاهرة تمدد الزمن. وقد حصل العالمان على نتائج تتوافق مع المعادلة الآتية مما يؤكد ظاهرة تمدد الزمن.

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - v^2/C^2}} = \gamma\, t_0$$

**إمكانية تطبيق النظرية النسبية**

كان آينشتاين بمفرده مسؤولاً عن اكتشاف النظرية النسبية كما أنه لعب دوراً هاماً في ميكانيكا الكم، ولكنه انزعج بشدة بسبب أبحاث هايزنبرغ وبول ديراك و شرودينغر والذين أنشأوا صورة جديدة للواقع تقوم على مبدأ الارتياب و ينص على أنه من غير الممكن قياس كل من موضع الجسم وسرعته بدقة تامة في الوقت نفسه، فكلما زادت الدقة في قياس أحد المقداريين تناقصت الدقة في قياس الآخر .

أي أن هناك دائماً عنصر من الارتياب أو عدم اليقين مما روَّع آينشتاين من هذا العنصر العشوائي في القوانين الأساسية. و قد عبر آينشتاين عن مشاعره في رسالة بعث بها إلى ماكس بورن :( أنت تؤمن بإله يلعب النرد و أنا أؤمن بقانون ونظام كاملين)

**لذا من غير الممكن تطبيق النظرية النسبية بشكل متناهٍ في الدقة بسبب الارتياب بالرغم من تأكيد أينشتاين وجود بعض القوانين الكاملة تماماً.**

**المبحث الأول: السفر عبر الزمن....هل هو حقيقة أم محض خيال؟؟؟**

**السفر عبر الزمن ... هل هو حقيقة؟؟؟ أم أنه قصة من قصص الخيال الذي اخترعته المخيلات الخصبة للمبدعين من البشر؟؟؟ أسئلة تطرق عقول الفيزيائيين والباحثين في النظريات الفيزيائية وهل يمكن إثبات واقعيته أو نفيها بواسطة النسبية ؟؟؟**

**في الواقع...نعم يمكن التوصل إلى نتيجة باستعمال النسبية ...**

**لنأخذ مثالاً على جسم يتحرك بسرعة الضوء حقيقةً ..الفوتونات تلك المملكة العظيمة التي تسكن معنا كلما أشعلنا النور إنها موجودة في الواقع ولكنها لم تكن حين كان المصباح مطفأً منذ مدة.. إذاً هي لا تسافر عبر الزمن إلى الماضي وبالمقابل حين نطفئ الضوء لا نتمكن من رؤيتها فهي لا تسافر إلى المستقبل بتاتاً ...**

**هذا بالنسبة لجسم معدوم الكتلة .. و لكن ماذا عن الجسم العطاليذو الكتلة هل يمكن له التحرك بالسرعات القريبة من سرعة الضوء بالتأكيد لا.. لأن الجسم العطالي له كتلة معينة وعند تحركه بسرعة الضوء تتحول كتلته إلى طاقة**

**أثر النسبية على ولادة ميكانيكا الكم**

**في بداية القرن العشرين وضعت نظريتان جديدتان هما النظرية النسبية الخاصةو العامة-التي اكتشفها أينشتاين بعد الخاصة- وميكانيكا الكم حيث تتعامل النسبية مع المكان والزمان وكيفية انحنائهما على المدى الواسع تحت تأثير المادة و الطاقة في الكون أما ميكانيكا الكم فيتعامل مع عالم الصغريات ورغم وجود ذلك الارتياب الذي تحدثنا عنه وافق معظم العلماء على صحة قوانين الكم الجديد و هي الأساس للتطورات في الكيمياء الحيوية والبيولوجية الجزئية وعالم الإلكترونيات ، وكانت أساس التكنولوجيا التي أحدثت تحولاً في العالم في السنين الخمسين الأخيرة.**

**خلاصة:**

**إن عالم النسبية له قوانينه الخاصة المستقلة وهوعالم متكامل بذاته رائع الجمال حيث تكون الفيزياء في أجمل صورها... كنظريات...**

**إن مملكة الفوتونات الكائنة في كل مكان تلك التي تعيش في عالمنا وتخضع لقوانين النسبية...هي من أعظم الممالك في التاريخ... ولكن أعماقها العظيمة و أسرارها لم تكتشف بعد**

**ولكن من يدري بعد حين ماذا يمكن أن يحدث؟؟ لربما أصبح بإمكاننا تحريك جسم عطالي بطريقة ما...و بالرغم من استحاليته الآن إلا أن العلم يخبئ أشياء جميلة...**

**إن حركة الجسم العطالي بسرعة الضوء هو أمر مستحيل تماماً لذا فالسفر عبر الأزمان مستحيل بالنسبة لجسم عطالي إذا أردنا استخدام سرعة الضوء للسفر عبر الأزمان حسب قانون أينشتاين.**

$$M=\frac{M'}{\sqrt{I-\frac{V^2}{C^2}}}$$

**وهكذا تزداد كتلة الجسم لتصبح معدومة في اللانهايةأما بالنسبة للطول فحسب قانون أينشتاين**

$$\mathbf{L = L'.B}$$

$$B = \sqrt[2]{1-\frac{V^2}{C^2}}$$

**أي أن الطول لذا فسفر الأجسام العطالية عبر الزمن أمر مستحيل تماماً ...**

# الفهرس

**الفصل الأول  محاضرات في الديناميكا الحرارية ........................................... 1**

**الفصل الثاني  قوانين الحركة لنيوتن ........................................................ 33**

**الفصل الثالث  تحضير معقد بلوري سائل من ليكاندات قواعد شف و دراسة بعض الخصائص الحرارية له ............................................................. 51**

**الفصل الرابع  النسبية الجاليلية ............................................................... 73**

**الفصل الخامس  أنواع التفاعلات النووية Types of Nuclear Reactions...... 167**

**الفصل السادس  تفسير النظرية النسبية ................................................... 189**

**الفصل السابع  النَّظريَّة النِّسبيَّة الخاصَّة ..................................................... 259**

**الفهرس ................................................................................................ 276**

**قائمة المحتويات ..................................................................................... 277**

# قائمة المحتويات

**الفصل الأول 1**

**محاضرات في الديناميكا الحرارية 1**

**الفصل الثاني 33**

**قوانين الحركة لنيوتن 33**

**الفصل الثالث 51**

**تحضير معقد بلوري سائل من ليكاندات قواعد شف و دراسة بعض الخصائص الحرارية له 51**

**الفصل الرابع 73**

**النسبية الجاليلية 73**

**الفصل الخامس 167**

**أنواع التفاعلات النووية 167**

**الفصل السادس 189**

**تفسير النظرية النسبية 189**

**الفهرس 276**